

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**DEMONSTRAČNÍ ÚLOHA ZAMĚŘUJÍCÍ SE NA  
PROBLEMATIKU SMART METERING**

SMART METERING DEMONSTRATION DEMO

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Filip Gregor**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.**

**BRNO 2021**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

**Student:** Bc. Filip Gregor

**ID:** 186069

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2020/21

**NÁZEV TÉMATU:**

## Demonstrační úloha zaměřující se na problematiku Smart Metering

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Rozeberte současné možnosti komunikace PLC (Powerline Communication) pro dálkový sběr dat (Smart Metering). Seznamte se s dostupnými řešeními PLC komunikace v Smart Metering systému. Realizujte sadu krátkodobých měření PLC komunikace mezi elektroměrem a koncentrátorem. Navrhněte metodiku testování PLC komunikace mezi elektroměrem a centrálou. Realizujte rozsáhlou sadu měření dle této metodiky. Současně navrhněte laboratorní úlohu s dodaným Smart Meteringovým systémem.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Hrasnica, H. Broadband Powerline Communications Networks. John Wiley & Sons, Chichester 2004. ISBN 0-470-85741-2.

[2] Power line communications: theory and applications for narrowband and broadband over power lines. 1st ed. Editor Hendrik Ferreira. Chichester: John Wiley, 2010, 507 s. ISBN 978-047-0740

**Termín zadání:** 1.2.2021

**Termín odevzdání:** 24.5.2021

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Dominik Harman (EG.D)

**prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá technologií PLC a problematikou Smart Metering. Teoretická část popisuje princip funkčnosti technologie, její výhody a nevýhody. V experimentální části této práce byla navržena metodika testování pro koncentrátor a elektroměry. Dále byla realizována rozsáhlá sada testování, například zachycení DLMS komunikace, ovlivnění kvality linky a odečítání registrů z elektroměrů. V druhé polovině praktické části se pro širokopásmové BPL modemy zjišťovaly limity komunikace mezi modemy pomocí simulátoru elektrického vedení. Testování pobíhalo dle doporučení RFC 2544, RFC 6349 a dle metodiky TCP Throughput, kde se měřila například propustnost, zpoždění nebo chybovost. V poslední části byly navrženy dvě laboratorní úlohy, první se zaměřuje na Smart Meteringový systém a komunikaci elektroměrů s koncentrátorem a druhá se zaměřuje na BPL komunikaci nejenom pro Smart Metering účely.

## KLÍČOVÁ SLOVA

BPL modemy, Datový koncentrátor, DLMS, Chytré Elektroměry, PLC, Smart Metering

## ABSTRACT

The thesis deals with PLC technology and issues with Smart Metering. In the theoretical part, a principle of technology's functionality and its advantages and disadvantages were described. In the experimental part methodology of data concentrator and electric meters was designed. In addition, extensive testing set according to capturing of DLMS communication, link quality influencing, reading registers of meters were realized. In the second experimental part limits of communications between broadband BPL modems were detected by the power line communication hardware channel emulator. Measurement of throughput, latency, frame loss passed off according to RCF 2544, RFC 6349 recommendation and according to the methodology of TCP Throughput In the last part, two laboratory exercises were created, first one deals with Smart Metering system and communication between the data concentrator and electric meters and the second one deals with communication among broadband BPL modems not only for Smart Metering purposes.

## KEYWORDS

BPL modems, Data Concentrator, DLMS, PLC, Smart Metering, Smart Meters

GREGOR, Filip. *Demonstrační úloha zaměřující se na problematiku Smart Metering*. Brno, Rok, 64 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Demonstrační úloha zaměřující se na problematiku Smart Metering“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Petru Mlýnkovi, Ph.D. za všestrannou pomoc, množství cenných a inspirativních rad, podnětů, doporučení, připomínek a zároveň za velkou trpělivost s obdivuhodnou ochotou při konzultacích poskytnutých ke zpracování této práce. Na závěr bych chtěl vyjádřit velké díky za podporou po celou dobu mého studia své přítelkyni Ing. Radce Puškárové, rodině a přátelům.

Brno .....

.....

podpis autora

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>10</b>
<b>1 Vznik PLC</b>	<b>11</b>
1.1 Základní myšlenka PLC . . . . .	11
1.2 Dělení PLC dle napěťových úrovní . . . . .	12
1.3 Technologie PLC . . . . .	13
1.4 Vlastnosti . . . . .	14
1.5 Smart Grid . . . . .	16
1.6 Smart Metering . . . . .	18
1.7 Inteligentní koncentrátor . . . . .	19
1.8 Inteligentní elektroměr . . . . .	21
<b>2 Komunikace</b>	<b>23</b>
2.1 DLMS/COSEM . . . . .	23
2.2 Kódy OBIS . . . . .	23
<b>3 Metodika testování elektroměrů</b>	<b>25</b>
3.1 Výsledky testování metodiky . . . . .	25
<b>4 Testování elektroměrů</b>	<b>29</b>
4.1 Vyčítání parametrů . . . . .	29
4.2 Zachycení DLMS komunikace . . . . .	31
4.3 Změna topologie . . . . .	32
<b>5 Testování širokopásmových modemů</b>	<b>35</b>
5.1 Simulátor vedení . . . . .	35
5.2 Měření BPL modemů . . . . .	36
5.2.1 Výsledky kvality linky . . . . .	38
5.2.2 Výsledky transportního protokolu TCP . . . . .	41
5.2.3 Výsledky transportního protokolu UDP . . . . .	41
5.2.4 Souhrn výsledků pro BPL modemy . . . . .	41
<b>6 Závěr</b>	<b>44</b>
<b>Literatura</b>	<b>46</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>51</b>

<b>A</b>	<b>Laboratorní úloha 1</b>	<b>52</b>
A.1	Koncentrátor s elektroměry . . . . .	52
<b>B</b>	<b>Laboratorní úloha 2</b>	<b>57</b>
B.1	Širokopásmové BPL . . . . .	57
<b>C</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>64</b>



# Seznam obrázků

1.1	Rozdělení datových služeb po silnoproudých vedení [2]. . . . .	12
1.2	Vliv rušení na elektrické síti[20] . . . . .	15
1.3	Současná energetická síť [26] . . . . .	16
1.4	Ukázka chytré sítě [26] . . . . .	18
1.5	Síť PLC s připojením na řídicí stanici [38] . . . . .	20
1.6	Datový koncentrátor [37] . . . . .	21
1.7	Inteligentní elektroměr[39] . . . . .	22
4.1	Nastavení měření . . . . .	29
4.2	Vyčtení hodnoty z elektroměru . . . . .	30
4.3	DLMS žádost-odezva . . . . .	31
4.4	DLMS Monitoring . . . . .	32
4.5	Zapojení ve stejné zásuvkové liště . . . . .	32
4.6	Zapojení 100 m vedení na reálné elektrické síti s rušením . . . . .	33
4.7	DLMS communication test . . . . .	34
4.8	Zobrazení topologie z pohledu koncentrátoru . . . . .	34
5.1	Simulátor vedení Witikee . . . . .	36
5.2	Schéma zapojení . . . . .	37
5.3	Srovnání SNR pro scénáře . . . . .	39
5.4	Symbolová rychlost pro 1. scénář . . . . .	39
5.5	Symbolová rychlost pro 2. scénář . . . . .	40
5.6	Symbolová rychlost pro 3. scénář . . . . .	40
5.7	Symbolová rychlost pro 4. scénář . . . . .	40
5.8	Srovnání výsledků propustností . . . . .	42
A.1	Schéma zapojení . . . . .	52
A.2	Hlavní menu . . . . .	53
A.3	Nastavení registrů . . . . .	54
A.4	Nastavení profilu k elektroměru . . . . .	54
A.5	Nastavený profil . . . . .	54
A.6	DLMS překlad . . . . .	55
A.7	Příkaz pro odpojení . . . . .	55
B.1	Simulátor vedení Witikee . . . . .	58
B.2	Zapojení úlohy pro BPL . . . . .	59
B.3	Nastavení putty . . . . .	60
B.4	Zobrazení frekvenčního pásma pomocí osciloskopu . . . . .	61

# Seznam tabulek

1.1	Rozdělení komunikačních pásem z hlediska norem[9]	14
1.2	Srovnání vlastností	15
3.1	Test č. 1.1 Datový přenos z elektroměru do koncentrátoru	25
3.2	Test č. 1.2 Synchronizace času	25
3.3	Test č. 1.3 Synchronizace zimní/letní čas	26
3.4	Test č. 1.4 Synchronizace času koncentrátoru přes NTP	26
3.5	Test č. 1.5 Test breaker/odpínač	26
3.6	Test č. 2.1 Testování koncentrátoru po výpadku komunikace	27
3.7	Test č. 3.1 Testování indikátoru kvality linky (LQi)	27
3.8	Test č. 4.1 Připojení nových elektroměrů	27
3.9	Test č. 4.2 Změna stavu elektroměru	27
3.10	Test č. 4.3 Testování změn topologie	28
4.1	Statistické informace o komunikaci	29
4.2	Tabulka vyčtených hodnot	30
4.3	Měření kvality linky	33
5.1	Tabulka nastavených kombinací pro vybrané scénáře	38
5.2	Souhrn naměřených výsledků	43

# Úvod

V současné době je nutné zaměřovat výzkum na informační a komunikační technologie a objevovat nové, či rozšiřovat stávající možnosti přenosu dat. Z tohoto důvodu je Smart Grid a jeho součástí jako Smart Metering nedílnou součástí budoucnosti. Vznikají nové alternativní zdroje elektrické energie a bude nutné tuto decentralizovanou síť určitým způsobem nejen ovládat, ale také monitorovat.

Pro tyto účely je přenos po rozvodné síti za použití technologie PLC<sup>1</sup> vhodnou variantou, protože data proudí přímo po stávající elektrické síti. Velkou ekonomickou výhodou je, že lze využít stávajících elektrických sítí a investice do výstavby infrastruktury není nutná, nebo je jen minimální. Již v minulém století byla technologie PLC využita pro hromadné dálkové ovládání a dodnes se využívá například v energetice. Je však třeba říci, že energetické vedení je primárně určeno k dodávání elektrické energie nikoli pro komunikační služby.

Tato práce se zaměřuje v první části na úzkopásmovou technologii PLC. Obsahuje seznámení se Smart Meteringovým systémem, který obsahuje datový koncentrátor (DC) a inteligentní elektroměry jednofázové a trojfázové. Po seznámení se s tímto systémem bude navržena metodika pro testování funkcí a zjištění možností komunikace. Testování bude obsahovat jednoduché odečítání hodnot napětí a jiných veličin z elektroměru přes synchronizaci času až po změny topologie a s tím související výsledky.

Protože v první části nebyla součástí systému centrála, bude druhá část této práce po domluvě s vedoucím věnována oblasti širokopásmových BPL modemů. Pro tyto modemy budou zkoumány limitní vlastnosti pro vzájemnou komunikaci za pomoci simulátoru elektrického vedení, kde bude navrženo několik scénářů, které ovlivní parametry přenosu. Následně bude provedeno rozsáhlé testování, kterým se zjistí, jak byla komunikace a kvalita přenosu ovlivněna.

Posledním úkolem bude vytvoření demonstračních laboratorních úloh se Smart Meteringovými systémy, určené například pro předmět Vyšší techniky datových přenosů (MPC-VDP). První bude zaměřená na odečítání parametrů z elektroměrů a s tím související vlastní komunikaci mezi koncentrátorem a elektroměry. Druhá laboratorní úloha se bude věnovat širokopásmovým BPL modemům, které se využívají mimo jiné v průmyslu, kde dochází k rušení komunikace na vedení. Z toho důvodu se tato úloha bude zaměřovat na zkoumání kvality komunikace a jejích limitů.

---

<sup>1</sup>PLC má více významů, zde zkratka znamená Power Line Communication

# 1 Vznik PLC

Vývoj technologie PLC neboli Power Line Communication byl zahájen na počátku 20. století, kdy v Evropě započaly první základy pro systém hromadného dálkového ovládání. Mezi první aplikace využívající silnoproudé vedení patřily odečty z měřičů ze vzdálených míst. Následný pokrok byl dosažen v USA, kdy na vzdálenost 32 km byl spuštěn přenos telefonního signálu. Avšak technologie umožňující širokopásmový přenos po elektrickém vedení se začaly rozvíjet až koncem 80. let dvacátého století [1].

Značný podíl na pokroku měly společnosti Nortel a United Utilities PLC, které vytvořily nový podnik s názvem Nor.Web DPL a které se zabývaly přenosem po silnoproudém vedení. Byla vyvinuta nová technologie pod názvem Digital Power Line, která umožňovala širokopásmový přenos po silnoproudém vedení 220 V. Technologie byla představena v roce 1998 na CeBITu 98 s označením DPL 1000. Po několika pilotních projektech ať od Nor.Webu nebo dalších společností se firma Nor.Web pro nedostatečnou výdělečnost rozhodla činnost firmy ukončit a dále se už nepodílet na vývoji technologie. Stejný problém také donutil ukončit projekt od společnosti Siemens. Následně se průkopníky nestaly velké nadnárodní společnosti, ale spíše menší firmy. Většina těchto firem využívala pro své modemy čipy od společnosti DS2. Tyto čipy způsobily velký pokrok v technologii BPL(Broadband Powerline) [2], [3].

## 1.1 Základní myšlenka PLC

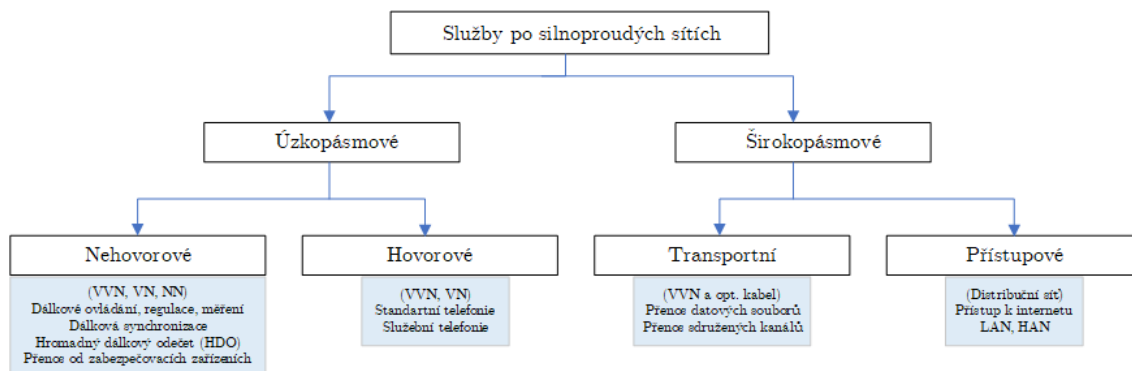
Pro přenos informací nebo dat se využívá silnoproudé elektrické vedení. Avšak základní funkcí elektroenergetické sítě je dodávání elektrické energie a ne telekomunikační účely. Proto se zde objevují různé problémy či omezení v podobě například ztrát, útlumů a rušení na vedení [4].

Pro systémy PLC není potřeba instalovat speciální kabeláž, protože se připojují přímo do elektrické sítě. Zapojení se provádí na stupeň nízkého napětí (NN) a nebo také na stupeň vysokého napětí (VN). Protože se pro distribuci elektrické energie používá kmitočet 50 Hz, tak pro přenos dat se využívají kmitočty vyšší. Avšak i to má své úskalí. Proto je možné PLC systémy, respektive PLC technologii, dělit z hlediska frekvenčního pásma na [2]:

- úzkopásmové PLC (NB-PLC),
- širokopásmové PLC (BB-PLC nebo také BPL),

jak je patrné z obrázku 1.1. Také je možné dělení podle úrovně napětí:

- Velmi vysoké napětí (VVN),
- Vysoké napětí (VN),
- Nízké napětí (NN).



Obr. 1.1: Rozdělení datových služeb po silnoprůdých vedení [2].

## 1.2 Dělení PLC dle napěťových úrovní

Jak bylo zmíněno, pro komunikaci se využívá silnoprůdé vedení jako přenosový kanál. Celek představující elektroenergetickou síť tvoří propojení energetických zdrojů pomocí elektrického vedení přes rozvodny, trafostanice až ke koncovým místům, kde dochází ke spotřebě této energie. Česká republika využívá pro přenos elektrické energie trojfázovou soustavu s normalizovanými hladinami elektrického napětí [5]. Proto se využívá několika úrovní napětí a ty je možné dělit na:

- Velmi vysoké napětí (VVN) je určené pro transport elektrické energie na velké vzdálenosti. To je uskutečněno z pravidla pomocí nadzemního vedení kvůli ochraně polohou. To propojuje elektrárny s jinými regiony nebo velkými společnostmi. Jmenovité hodnoty napětí jsou 110 kV, 220 kV, 300 kV. Nejvhodnější technologií pro toto napětí je NB-PLC respektive UNB-PLC, které slouží ke vzdálenému monitoringu poruch nebo zkratových proudů [6].
- Vysoké napětí (VN) slouží k dodávání elektrické energie do měst, menších zón a k průmyslovým odběratelům. Využívá se nadzemní i podzemní vedení s jmenovitými hodnotami 6 kV, 10 kV, 22 kV a 35 kV. Využít lze opět NB-PLC pro monitoring, HDO, vzdálené ovládání a měření, protože tyto aplikace využívají nižší přenosovou rychlost a nevyžadují vyšší.
- Nízké napětí (NN) je určeno pro dodávání elektrické energie až ke koncovým klientům. Jsou realizována převážně podzemním vedením, avšak i v určitých oblastech se špatnou infrastrukturou je využito nadzemní vedení. Jmenovité hodnoty napětí jsou 230 V, 400 V a 500 V. Délka těchto sítí může dosahovat až stovek metrů. Právě nízké napětí dosahuje rozsáhlých použití PLC technologie.

## 1.3 Technologie PLC

Základní rozdělení podle frekvenčního pásma [6]:

- **Velmi úzkopásmové PLC** (Ultra Narrow Band (UNB))

Frekvenční pásmo této technologie se pohybuje od 30 po 300 Hz nebo 0,3 až 3 kHz. Tím je možné dosáhnout přenosových rychlostí v desítkách bit/s. Tato nízká přenosová rychlost je však kompenzována vzdáleností komunikace, která je schopná dosáhnout i více než 150 km. Všechny aplikace nebo provozované systémy nevyžadují vysoké přenosové rychlosti jako například řízení veřejného osvětlení, řízení zátěže elektrických systémů apod. [7]. Avšak potřebují velký dosah a v tom tkví výhoda této technologie [8]. Využití je například u HDO. Na tuto UNB technologii chybí řádná standardizace.

- **Úzkopásmové** (Narrow Band (NB))

Pro tuto technologii obecně je frekvenční pásmo 3 až 500 kHz, ale poté se dělí dle území kde je provozováno. CENELEC<sup>1</sup> [9] definuje frekvenční pásmo v Evropě pro NB-PLC od 9 kHz do 148,5 kHz a to je dále děleno do dalších subpásem [10] podle využití dle tabulky 1.1. V zámoří je dle americké federální komunikační komise (FCC<sup>2</sup>) pásmo 10 až 490 kHz, v Číně je frekvenční pásmo 3 až 500 kHz a v Japonsku dle ARIB<sup>3</sup> je pásmo 10 až 450 kHz [13]. Oproti UNB dosahuje tato technologie přenosových rychlostí od desítek do stovek kb/s, ale s menším dosahem, který se pohybuje do desítek kilometrů a který se liší dle použitého zařízení. V současnosti je NB-PLC mírně zastíněna z hlediska využitelnosti. Specifikace této technologie se prosazují především v průmyslu (centrální ovládání, sběr dat a další) [14].

---

<sup>1</sup>Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice, zkráceně CENELEC sdružuje národní elektrotechnické organizace. CENELEC se zabývá tvorbou evropských norem EN a jiných druhů dokumentů pro normalizaci a standardizaci ve všech oblastech elektrotechniky [9].

<sup>2</sup>Federální komunikační komise je nezávislá federální regulační agentura odpovědná přímo Kongresu. Byla zřízena zákonem o komunikacích z roku 1934 [11].

<sup>3</sup>Asociace rádiového průmyslu a podniků byla založena za účelem podpory výzkumu a vývoje nových rádiových systémů a slouží jako organizace pro rozvoj norem za účelem prosazování sjednocení mezinárodních standardů a souvisejících činností v oblasti telekomunikací [12].

Tab. 1.1: Rozdělení komunikačních pásem z hlediska norem[9]

Pásmo	Šířka pásma [kHz]	Max. amplituda signálu [V]	Dodatek
-	3-9	-	pro dodavatele el. energie
A	9-95	1 - 5	pro dodavatele a po souhlasu i pro odběratele
B	95-125	1,2	jen pro odběratele, bez nutnosti přístupu dle normy
C	125-140	1,2	jen pro odběratele - vyžadován protokol (ČSN EN 50065)
D	140-148,5	1,2	jen pro odběratele, nutnost přístupu dle normy

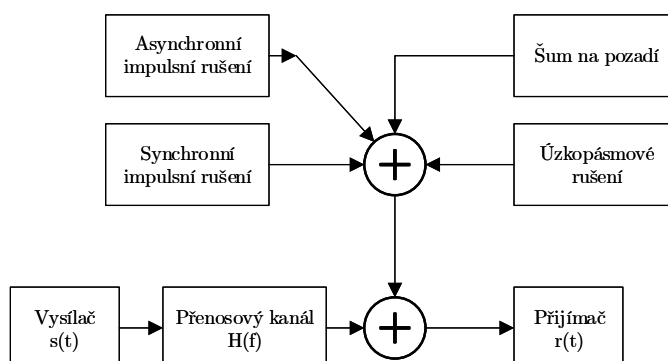
- **Širokopásmové** (Broad Band (BPL)) Pracuje ve frekvenčním pásmu 1,8 až 500 MHz s přenosovou rychlostí na fyzické vrstvě až stovky Mb/s, ale na úkor vzdálenosti přenosu, která je nižší oproti NB-PLC [15]. Příkladem jsou HomePlug AV/Extended nebo HomePlug AV2. Faktory ovlivňující dosah signálu a jeho výkon jsou útlum, úroveň a druh rušení a to všechno se projeví jako snížení přenosové rychlosti, protože s vyšší přenosovou rychlostí vzniká i více chyb při přenosu. Širokopásmová technologie se začala využívat v domácích sítích (HAN) a pro přístup k internetu. BPL lze do určité míry považovat za alternativu k lokálním sítím např. Wi-Fi, ale spíše pro síť HAN. Další problémy mimo rušení nebo útlum je samotná standardizace a zmatená legislativa provozovatelů energetických sítí [2].

## 1.4 Vlastnosti

Technologie PLC s sebou nese značnou řadu pozitivních, ale i negativních vlastností, které je nutné mít na paměti při případném využívání této technologie v provozu či domácnosti. Každé prostředí, kde by se případně mohla tato technologie využít, je nutné nejprve zanalyzovat, aby se v co největší míře předešlo negativním vlivům a nedošlo tak k znehodnocení nebo nepoužitelnosti této technologie v daném prostředí [6]. Abychom byli schopni zvolit vhodnou technologii, jsou nutné znalosti jak na poli technologie, tak legislativy.

Mezi hlavní pozitiva této technologie patří možnost využití stávající infrastruktury elektrických sítí, čímž se sníží náklady spojené s pokládkou kabeláže. Z tohoto důvodu však vzniká i negativní vliv na tuto technologii v podobě odboček na trase

nebo rušení [16], [17]. To může být v podobě impulsního rušení, šumu na pozadí nebo úzkopásmového rušení [18], [19]. Vliv rušení je zobrazen na obrázku 1.2.



Obr. 1.2: Vliv rušení na elektrické síti[20]

Díky široké škále kmitočtů je možné uplatnit PLC technologie v inteligentních sítích. Je však nutné zvolit správnou technologii (NB-PLC, UNB-PLC, BPL), protože s rostoucí vzdáleností klesá přenosová rychlost a bez použití opakovacích můžou docházet i ke ztrátovosti. Dalším úskalím je standardizace u širokopásmové technologie (BPL), kde od mnoha organizací bylo uvedeno několik nekompatibilních standardů TIA-1113, ITU-T G.hn a IEEE P1901 [21]. Pokud budeme uvažovat o rozšíření této technologie pro běžné využívání, musí se vzít v úvahu několik zásadních negativ, které bude potřeba podrobit dalšímu zkoumání [22].

Tab. 1.2: Srovnání vlastností

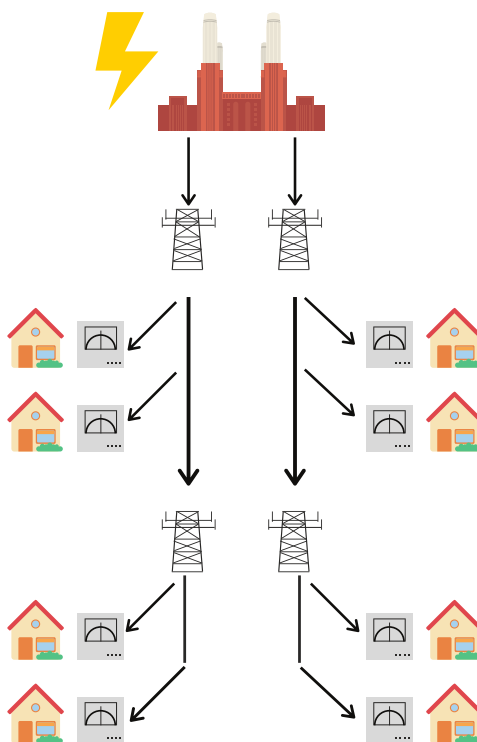
Klady	Zápory
Finanční náklady na výstavbu nejsou potřeba	Dosah komunikace se snižuje s rostoucí přenosovou rychlostí
PLC jako redundantní kanál	Různé druhy rušení na vedení
Možnost přepnutí PLC do funkce Modemu/Senzoru (Přijímač/Vysílač)	Komplikovanost vedení (odbočky na vedení)
Distributor ovládá komunikaci a má kontrolu na zařízením	Standardizace-převážně u širokopásmového PLC
PLC pracuje od úzkých až k širokým frekvenčním pásem	Silnoproudé vedení není primárně určeno pro komunikaci



## 1.5 Smart Grid

Smart grid (Inteligentní síť) se dá pochopit jako komunikační síť mezi distributory, producenty a spotřebiteli elektrické energie. Tyto sítě mohou sledovat energetické toky a podle nich se přizpůsobovat změnám místním i globálním [23]. Ve spojení se Smart meteringem (Chytré měření) jsou tyto sítě schopné poskytovat dodavatelům a distributorům data o spotřebě a to všechno v reálném čase. Tím je možné do určité míry sledovat trend spotřeby elektrické energie a při případném nedostatku spustit zavčas výrobu a dodávku elektrické energie a předejít tím výpadku. Obdobně je možné zachytit poruchu nebo výpadek, okamžitě na něj reagovat a postoupit k rychlému vyřešení [24]. Energetika používá „sít“ jako termín k dodávání energie od elektrárny přes rozvodny až k odběratelům a můžeme říci, že je to centralizovaný systém dle obrázku 1.3, který může vykonávat tyto funkce:

- Výroba elektrické energie,
- Přenos elektrické energie,
- Rozvod elektrické energie,
- Řízení elektrické energie [25].



Obr. 1.3: Současná energetická síť [26]

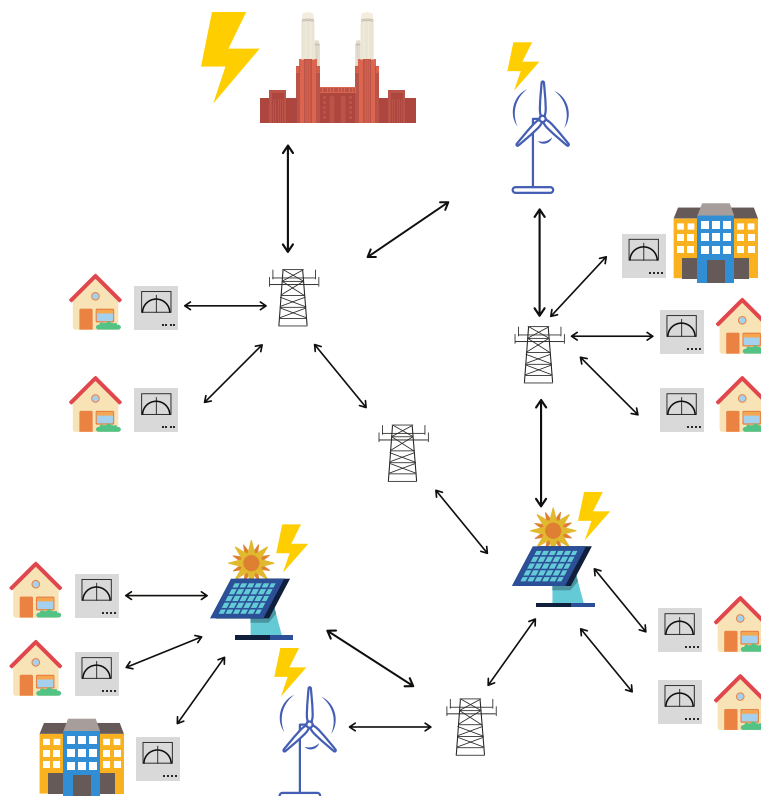
Komplexně by pojem Smart Grid měl do budoucna zahrnovat tyto body:

- Dopad na životní prostředí: při výrobě elektrické energie tradičním způsobem se vytváří velké množství emisí, které mají vliv na změny klimatu [27].
- Tržní a zákaznické potřeby: zachování konkurenceschopnosti trhu a zároveň spokojenosti zákazníka se spotřebou elektřiny a zároveň vysoký poměr ceny a kvality [27].
- Infrastruktura: obsahuje rychle stárnoucí komponenty a málo se investuje do zlepšení. K lepší spolehlivosti jsou potřeba nástroje pro rychlou on-line analýzu [27].
- Inovativní technologie: zlepšení výkonové a komunikační technologie a implementace vzájemné slčitelnosti [27].

V současné době se z pojmu Smart Grid věnuje pozornost těmto pojetím, které jsou základním stavebním kamenem Smart Grids:

- Smart Metering,
- Smart Homes,
- Smart Buildings,
- Smart Cities [25].

V současné době se objevuje stále více alternativních zdrojů elektrické energie, které mají být ekologicky více přívětivé k životnímu prostředí. Z toho důvodu Smart Grid může být zobrazena jako decentralizovaná síť jako na obrázku 1.4. Smart Grid, jeho podoba má možnost obousměrné komunikace a tím lepší kontrolu a správu elektrické energie.



Obr. 1.4: Ukázka chytré sítě [26]

## 1.6 Smart Metering

Elektrická energie je v současné době pro moderní společnost nezbytná, slouží k napájení zařízení pro každodenní fungování jak v soukromé, tak v pracovní sféře. Dodává energii pro komerční budovy, průmyslové odvětví, zařízení pro přístup k internetu apod.. Ve městech se poptávka po elektrické energii zvyšuje [28]. Vyšší výroba elektřiny této situaci pomůže, ale zcela ji nevyřeší. Pro moderní společnost, která je na elektřině závislá, by na její výpadek měl negativní dopad. Energetické společnosti potřebují znát spotřebu ve špičce, mimo špičku a informace o využívání ideálně v obousměrné komunikaci mezi elektroměry u svých klientů a elektrárnami [29]. K tomu může pomoci právě Smart metering s inteligentními měřiči, které toto mohou poskytnout. Tím by bylo možné snížení účtů za elektrickou energii a lepší využívání elektřiny ze všech zdrojů. Implementací Smart meteringu je výhodné i z hlediska monitoringu, detekci poruch a tím i okamžitého řešení daného problému. Smart metering je nejrozsáhlejší a nejlépe definovaný subsystém z konceptu Smart Grids [30], [31]. Možné vzdálené úkony Smart meteringu:

- zapínání a vypínání odběru elektrické energie v odběrném místě,

- odečet odběru elektrické energie pomocí inteligentních elektroměrů,
- inteligentní řízení dodávky a spotřeby elektrické energie přímo v odběrném místě,
- regulaci dodávky elektrické energie v odběrném místě,
- řízení kritických stavů v rozvodné síti NN [32].

Pro vývoj a rozvíjení Smart meteringu jsou důležité tyto oblasti:

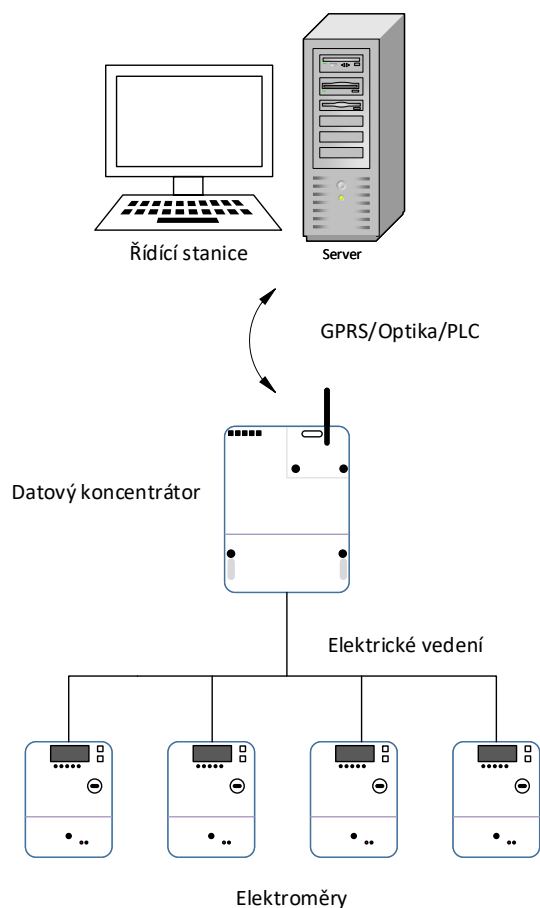
- AMI (Advanced Metering Infrastructure) umožňuje obousměrný přenos mezi elementárními prvky sítě a také informační dostupnost ke všem důležitým prvkům energetické sítě. Umožní nejen automatický odečet (AMM), ale díky této technologii lze do celého systému zařadit i měření dodávek vody, tepla a plynu. Dojde tak ke zlepšení spolehlivosti a kontroly [33]. Pro využití AMI je možno využít části této architektury:
  - Power Line Communication (PLC),
  - Broadband Power Line Communication (BPL),
  - Metalické kabely nebo optické vlákna,
  - Bezdrátové technologie,
  - Internet,
  - Kombinací výše uvedených [34].
- AMM (Automated Meter Management) je nová technologie nabízející obousměrnou komunikaci. Rozšiřuje možnosti AMR systémů, například umožňují řízení tarifu, dálkové odpojení odběrného místa nebo dálkové nastavení maximálního příkonu.
- AMR (Automated Meter Reading) jedná se o dálkový odečet měřičů energie u zákazníka skrze systémy dálkového měření. Funguje na bázi jednosměrné komunikace, kdy jsou data přenesena do datové centrály a následně zpracována [35]. Díky tomu je možné provést odečet z elektroměru bez pověřené osoby, čímž se sníží emise spojené s cestováním služebním automobilem [27].

Hlavní Smart Meteringové systémy a také ty nejpoužívanější jsou jednofázové a trojfázové elektroměry, opakovače, datové koncentrátoři a další. Tyto zařízení slouží ke správě a monitoringu elektrických sítí a infrastruktury [36].

## 1.7 Inteligentní koncentrátor

Datový koncentrátor je jedním ze základních zařízení používaných ve Smart Meteringu. Slouží k automatickému dálkovému odečtu dat z inteligentních elektroměrů, kdy se všechna data v určitých časových intervalech posílají právě do datového koncentrátoru. Data jsou dále posílána do nadřazeného bodu, tato komunikace je obousměrná, nadřazený bod může poslat povel koncentrátoru, ten jej zpracuje a výsledná

data odešle zpět. Zjednodušeně je toto zobrazeno na obrázku 1.5. Několik elektroměrů bývá připojeno do jednoho koncentrátoru a vytvoří tak stromovou topologii. Na obrázku 1.6 můžeme vidět příklad datového koncentrátoru a jeho vlastnosti uváděné výrobcem [37] jsou popsány v bodech 1.7.



Obr. 1.5: Síť PLC s připojením na řídicí stanici [38]



Obr. 1.6: Datový koncentrátor [37]

- Zásuvný modem pro komunikaci WAN
- Podporuje pásma G3-PLC Cenelec A (5-95 kHz) a G3-500 (150-500 kHz) nebo PLAN + Cenelec A band
- Integrovaný WEB server pro místní a vzdálený přístup k datovému koncentrátoru DC450
- Koncept push dat s individuálními profily čtení a push
- Umožňuje aktualizaci firmwaru měřiče v terénu
- Spolupráce DLMS / COSEM a IDIS
- IPv6 kompatibilní
- 2 ethernetové porty
- Rozhraní RS-485

## 1.8 Inteligentní elektroměr

Chytré elektroměry slouží k nastavení tarifů pro odběr elektrické energie. Tento elektroměr pracuje ve frekvenčním pásmu CENELEC A (5-95 kHz). Pro komunikaci využívá modulaci 8PSK (8-Phase Shift Keying) a QPSK<sup>4</sup> (Quadrature Phase Shift Keying). Nastavení tarifů je možné od kalendářních dnů po určité hodiny, kde je určen pro danou dobu například nízký nebo vysoký tarif. Je možné monitorovat napětí na jednotlivých fázích, frekvenci elektrické sítě, proudy, výkony apod. Tyto data jsou poté vyčtena pomocí koncentrátoru, přes který je možné tento monitoring nastavit a následně data vyčíst. Pro tyto účely jsou použity jednofázové elektroměry E450 viz. obrázek 1.7, jeho vlastnosti od výrobce [39] jsou uvedeny v bodech 1.8.

<sup>4</sup>QPSK je typ digitální modulace, která využívá čtyřstavové klíčování fázovým zdvihem, kdy každý stav přenáší současně 2 bity.



Obr. 1.7: Inteligentní elektroměr[39]

- Powerline Carrier Technologies (G3-OFDM, PLAN +)
- Jednofázové a vícefázové, se spínačem řízení napájení nebo bez něj
- Design poskytující dlouhou životnost aktiv a vysokou úroveň zabezpečení
- Vzdáleně aktualizovatelný firmware
- Standardizované a interoperabilní (IDIS/DLMS/COSEM)
- Spolupráce DLMS / COSEM a IDIS
- Navrženo podle principu Fair Meter
- Volitelný integrovaný spínač zátěže
- Podpora více energií (bezdrátová a kabelová M-Bus). DMSR 2.2+ a OMS 4.03 (bezdrátové režimy T1, S1, C1)
- Propracovaná síťová kvalita funkcí zásobování
- Balíček proti neoprávněné manipulaci
- Zvýšené zabezpečení
- Spotřebitelské rozhraní (otevřené rozhraní HAN) Optické a Mbus kabelové

## 2 Komunikace

Komunikace mezi datovým koncentrátorem a elektroměry, opakovači apod. probíhá pomocí aplikační vrstvy DLMS/COSEM. Ta je určena k sestavení spojení klient-server a upřesňuje služby k přístupu do objektů COSEM a jejich atributům více v následující podkapitole 2.1.

### 2.1 DLMS/COSEM

Protokol DLMS/COSEM<sup>1</sup> je celosvětový standart pro správu energie, řízení a inteligentní měření, který určuje komunikační protokoly pro výměnu informací mezi inteligentními zařízeními. Tento standart lze použít na jakémkoli přenosovém médiu pro všechny veřejné služby, energie, všechny aplikace a zahrnuje:

- COSEM (Companion Specification for Energy Metering), rozhraní a jejich objekty je možné použít pro měření.
- OBIS (Object Identification systém), zahrnuje specifikované kódy pro měření elektřiny, plynu, vody, tepla.
- DLMS (Device Language Message Specification) [40].

Sada vrstev protokolu DLMS/COSEM obsahuje specifické profily, které zajišťují přenos zpráv skrze aplikační vrstvy přes rozdílná média. Z toho důvodu je nutná bezpečnost a šifrování této komunikace. Protože soukromí uživatelů i poskytovatelů musí být chráněno, jsou navrženy postupy pro zabezpečení informací a z toho plyne, že celá infrastruktura Smart Grid musí být zabezpečena. Při této komunikaci mezi klientem a serverem je nutná identifikace a autentizace, které při začátku spojení vysílají šifrované zprávy [41].

### 2.2 Kódy OBIS

Tyto OBIS<sup>2</sup> kódy tvoří šestice identifikátorů skupin, která určuje účel těchto dat. Skupiny jsou odděleny symbolem v řetězci kvůli správnému přiřazení do dané skupiny.

**A-B:C.D.E\*F**

---

<sup>1</sup>DLMS/COSEM v celém znění Device Language Message Specification/Companion Specification for Energy Metering

<sup>2</sup>OBIS celým názvem Object Identification System určuje identifikaci datových objektů v komunikaci DLMS/COSEM. OBIS kód je jednoznačné označení registrů v paměti elektroměru podle normy IEC 62056-61 [42].



- Skupina A určuje typ energie (0=abstraktní, 1=elektřina, 7=plyn, 6=teplo, 8=voda).
- Skupina B určuje datový kanál.
- Skupina C určuje druh měřených dat (proud, napětí, frekvence, výkon apod.)
- Skupina D určuje výsledky výpočtu ze skupin A-C.
- Skupina E doplňuje zpracování hodnot definovanými skupinami A-D podle užitých tarifů
- Skupina F určuje ukládání dat v různém fakturačním období (měsíční, týdenní, denní [43]).

### 3 Metodika testování elektroměrů

Pro vhodné vyhodnocení a případné srovnání individuálních PLC technologií se používá metodika. Jedná se o návrh několika měření či postupů měření a vyhodnocení, které po vhodné realizaci umožňují porovnání stávajících pilotních projektů používajících PLC technologie. Metodika může nabídnout přehledné vyhodnocení výsledků i základy pro návrh komunikační infrastruktury. Návrh metodiky se týká úzkopásmové PLC technologie v pásmu CENELEC A. Dodaný systém obsahuje datový koncentrátor s elektroměry jednofázovými i trojfázovými. Měření bude prováděno v laboratorních podmínkách na NN elektrickém vedení.

Metodika se dělí na:

- Základní testy funkčnosti,
- Výpadek napájení/komunikace,
- Kvalita komunikace,
- Změna topologie.

#### 3.1 Výsledky testování metodiky

Tab. 3.1: Test č. 1.1 Datový přenos z elektroměru do koncentrátoru

Test	1.1	Název	Test datového přenosu z elektroměru do koncentrátoru
Popis	Test dálkového sběru dat. Postup: Vyčtení dat (stavy registrů, data profilů, napětí, proudy, chybová hlášení) z elektroměru přes koncentrátor		
Podmínky	Jsou přijatá data z koncentrátoru stejná jako vyčtená data z elektroměru?		
Výsledek (Ano)	Vyčtení dat bylo úspěšné a data jsou stejná.		

Tab. 3.2: Test č. 1.2 Synchronizace času

Test	1.2	Název	Test synchronizace času
Popis	Elektroměr musí být schopen provést synchronizaci času na základě příkazu z koncentrátoru. Postup: Změna času elektroměru přes koncentrátor o např. 10 minut. Vyžádat synchronizaci času elektroměru v koncentrátoru a ověření synchronizace času elektroměru.		
Podmínky	Došlo k synchronizaci času elektroměru, kde za synchronizovaný čas je považovaný čas, který se neliší o více jak 20 s?		
Výsledek (Ano)	Synchronizace byla přes koncentrátor byla úspěšná, čas se liší pouze o 2-3 s mezi koncentrátorem a elektroměry.		

Tab. 3.3: Test č. 1.3 Synchronizace zimní/letní čas

Test	1.3	Název	Test synchronizace zimní/letní čas
Popis			Systém by měl zvládnout nastavit, kdy dojde k změně času (letní/zimní). Postup: Nastavit změnu času na poslední neděli v březnu. Změnit datum na poslední neděli v březnu a čas na 01:45. Vyčkat do změny z 2:00 na 3:00 a prověřit provedení změny času.
Podmínky			Došlo ke změně zimního času na letní ?
Výsledek (Ne)			Automatická změna čase nebyla provedena. K nastavení letního času bylo nutné manuálně provést nastavení přes koncentrátor

Tab. 3.4: Test č. 1.4 Synchronizace času koncentrátoru přes NTP

Test	1.4	Název	Synchronizace času koncentrátoru přes NTP
Popis			Koncentrátor by měl automaticky synchronizovat čas přes NTP protokol. Postup: Nastavení synchronizace času z NTP serveru. Odpojit koncentrátor od napájení na 5 minut. Připojit koncentrátor k napájení.
Podmínky			Došlo k synchronizaci času koncentrátoru pomocí NTP protokolu?
Výsledek (Ano)			Synchronizace pomocí NTP byla úspěšná, pomocí všesměrového vysílání

Tab. 3.5: Test č. 1.5 Test breaker/odpínač

Test	1.5	Název	Test breaker/odpínač
Popis			Odečet by měl umět povolit/zakázat vzdálené odpojení elektroměru a dálkové uvolnění tlačítka a připojení elektroměru místně. Postup: 1)Nastavit možnost vzdáleného zapojení/odpojení elektroměru 2)Vzdáleně odpojit elektroměr 3)Provést vzdálené odpojení všech deseti elektroměrů
Podmínky			1)Došlo k požadovaným nastavením/konfiguraci zapojení/odpojení elektroměru? 2)Došlo k vzdálenému odpojení elektroměru? 3)Došlo k požadovanému odpojení všech elektroměrů do 15 minut?
Výsledek (Ano)			Konfigurace a odpojení elektroměru proběhlo úspěšně. Odpojení nastalo do 2 s.

Tab. 3.6: Test č. 2.1 Testování koncentrátoru po výpadku komunikace

Test	2.1	Název	Testování koncentrátoru po výpadku komunikace
Popis			Elektroměr musí být schopen dodat naměřená fakturační data do koncentrátoru. Elektroměr má mít schopnost uchovávat tyto data 90 dní. Postup: 1)Odpojit komunikaci mezi koncentrátorem a centrálou (odpojení napájení koncentrátoru) 2)Znova zapojit komunikaci po 24 hodinách.
Podmínky			1)Po znovu zapojení komunikace (po 24 hod) je elektroměr schopen zaslat chybějící data? 2)Byla přijata všechna chybějící data, bez zahození?
Výsledek (Ano)			Data byla po obnovení komunikace zaslána bez chyby.

Tab. 3.7: Test č. 3.1 Testování indikátoru kvality linky (LQi)

Test	3.1	Název	Testování indikátoru kvality linky (LQi)
Popis			Koncentrátor by měl být schopen zjišťovat stav kvality linky k přenosu informací. Postup: 1) Základní zapojení do zásuvkového panelu. 2) Zapojit na stejnou elektrickou síť zařízení se stejnou komunikační frekvencí, což způsobí rušení. 3) Vyhodnotit možnosti komunikace, zda na zarušené lince je komunikace možná.
Podmínky			Zjistil koncentrátor stav linky a parametr LQi? Byla komunikace možná ?
Výsledek (Ano)			Stav linky byl odhadem na 50 % a parametr LQi k elektroměru byl 54. Komunikace byla možná.

Tab. 3.8: Test č. 4.1 Připojení nových elektroměrů

Test	4.1	Název	Připojení nových elektroměrů
Popis			Koncentrátor by měl být schopen automaticky objevovat nové elektroměry. Postup: 1)Připojení nového elektroměru a záznam času připojení. 2)Ověření detekce nového elektroměru v centrále a záznam času detekce.
Podmínky			Je centrála schopna automaticky detekovat nový elektroměr do 15 minut?
Výsledek (Ano)			Elektroměr byl zapnut 16:52, detekován a navázán koncentrátorem v 16:57.

Tab. 3.9: Test č. 4.2 Změna stavu elektroměru

Test	4.2	Název	Změna stavu elektroměru
Popis			Koncentrátor by měl být schopen automaticky detekovat změnu stavu elektroměrů (online/offline). Stav offline znamená, že z nějakého důvodu není elektroměr dostupný (nekomunikuje). Postup: 1)Odpojení elektroměru, který již byl v koncentrátoru rozpoznán a detekován. 2)Ověření změny stavu elektroměru v koncentrátoru. 3)Připojení odpojeného elektroměru. 4)Ověření změny stavu elektroměru v koncentrátoru.
Podmínky			Je schopen koncentrátor automaticky detekovat stav elektroměru (online/offline)?
Výsledek (Ano)			Detekce stavu proběhla vždy úspěšně.

Tab. 3.10: Test č. 4.3 Testování změn topologie

Test	4.3	Název	Testování změn topologie
Popis			Koncentrátor by měl být schopen reagovat na změny topologie. Postup: 1) Základní zapojení do zásuvkového panelu. 2) Prodloužit délku vedení o 100m. 3) Analyzovat změnu topologie.
Podmínky			Navázal koncentrátor po změně topologie spojení se všemi elektroměry a zobrazil topologii?
Výsledek (Ano)			Detekce a následné spojení proběhlo úspěšně se všemi elektroměry. Topologie byla zobrazena i s parametrem LQi.

## 4 Testování elektroměrů

Dodaný PLC systém obsahuje velkou škálu možností jak ze stran konfigurace, tak ze strany monitoringu. V záložce Diagnostics  $\Rightarrow$  PLC  $\Rightarrow$  Statistics jsou obsažena data z PLC komunikace, kde jsou zobrazeny komunikační statistiky. Je možné se na určitý (omezený) souhrn podívat přímo přes webové rozhraní, a nebo zobrazit podrobnější informace, které je možné exportovat do souboru „.csv“. Obě tyto varianty nabízí zobrazení určité časové periody. V tabulce 4.1 je pouze malá část dostupných informací.

Tab. 4.1: Statistické informace o komunikaci

Průměrná bitová rychlost unicástové komunikace		Statistika komunika	
Transmit	71.8 bytes/sec	Bytes received	105812
Receive	85.9 bytes/sec	Average round trip time (RTT)	304 ms
Average transmit message size	21.9 bytes	Unicast messages success	4047
Average receive message size	26.1 bytes	Unicast message success rate	100.0%

### 4.1 Vyčítání parametrů

Pro dodaný Smart Metering systém bylo dle navržené metodiky v kapitole 3 provedeno několik testů funkčnosti a komunikace. Test datového přenosu z elektroměru do koncentrátoru dle 3.1. Nastavování daných měření bylo prováděno přes webové rozhraní datového koncentrátoru viz. obrázek 4.1. Nastavení měření pomocí OBIS kódů pro určitá měření:

- aktuální nastavený tarif,
- frekvenci elektrické sítě,
- výčet hodnot napětí na fázích,
- aktivní celkový výkon,
- sériové číslo elektroměru,
- datum a čas.

Item	Register id	Priority	Type	Capture period	History count	Retrospective time (days)	Last reading time
1	<a href="#">0-0:1.0.0*138</a>	0	Time	5 hours	0	0	2020.12.07 03:54:18
2	<a href="#">0-0:96.1.0*255</a>	2	Register	1 hour	1000	10	2020.12.07 04:49:38
3	<a href="#">0-0:96.14.0*255</a>	2	Register	1 hour	1000	10	2020.12.07 04:50:08
4	<a href="#">1-0:1.7.0*255</a>	2	Register	15 minutes	1000	10	2020.12.07 05:07:08
5	<a href="#">1-0:1.8.0*255</a>	2	Register	15 minutes	1000	10	2020.12.07 05:07:12
6	<a href="#">1-0:1.8.1*255</a>	2	Register	1 hour	1000	10	2020.12.07 04:51:04
7	<a href="#">1-0:1.8.2*255</a>	2	Register	1 hour	1000	10	2020.12.07 04:52:00
8	<a href="#">1-0:1.8.3*255</a>	2	Register	1 hour	1000	10	2020.12.07 04:52:02
9	<a href="#">1-0:14.7.0*255</a>	2	Register	5 minutes	1000	10	2020.12.07 05:12:09

Obr. 4.1: Nastavení měření

Při nastavení měření je možné si zvolit jak určitý elektroměr, který má měření provádět, tak i dobu, po kterou se toto měření bude opakovat neboli měřenou periodu. Bylo vyzkoušeno více časových úseků pro kontrolu funkčnosti. Při tomto testování byly elektroměry zapojeny ve stejné zásuvkové liště v bezprostřední blízkosti. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 4.2.

Tab. 4.2: Tabulka vyčtených hodnot

Unit ID	Měřeno	Registr	Data
4C475A66732F2C8F	Aktuální Tarif	0-0:96.14.0*255	52 41 54 45 32 00 00 00
4C475A66732F2C8F	Cel. výkon	1-0:1.7.0*255	0
4C475A66732F2C8F	Sériové číslo	0-0:96.1.0*255	35 33 34 32 33 32 34 37
4C475A66732F2C94	Napětí na 1. fázi	1-0:32.7.0*255	243
4C475A66732F2C94	Frekvence	1-0:14.7.0*255	50
4C475A66732F2C94	Datum a čas	0-0:1.0.0*138	2020.12.07 04:45:40

V tabulce 4.2 můžeme vidět ve sloupci data, hodnoty v hexadecimálním zápisu u výčtu aktuálního tarifu a sériového čísla elektroměru je potřeba tato data převést do ASCII. Podrobný výčet hodnoty z aktuálně nastaveného tarifu z elektroměru je zobrazen na obrázku 4.2.

$$(52\ 41\ 54\ 45\ 32\ 00\ 00\ 00)_{HEX} = (RATE2)_{ACSI}$$

$$(35\ 33\ 34\ 32\ 33\ 32\ 34\ 37)_{HEX} = (53423247)_{ACSI}$$

Unit ID	4C475A66732F2C8F	...
Register	0-0:96.14.0*255	...
<input type="button" value="Get data"/>		
<b>Register value</b>		
Device serial	4C475A66732F2C8F	
Register id	0-0:96.14.0*255	
Read time	2020.12.05 19:49:37	
Type	Octet string (9)	
Length	8	
Data	52 41 54 45 32 00 00 00	
Unit	0	
Scaler	0	
State	1	
Status	0	

Obr. 4.2: Vyčtení hodnoty z elektroměru

## 4.2 Zachycení DLMS komunikace

Pro zachycení DLMS komunikace při odečtu dat byl po celou dobu spuštěn nástroj webového rozhraní DLMS Monitor. Tento monitoring nabízí zobrazit surová data v hexadecimálním tvaru viz. obrázek 4.4. Můžeme vidět že nejprve je pomocí DLMS odeslána žádost (get-request) na elektroměry a poté je ve stejném pořadí doručena odezva (get-response). Tyto data je částečně možné analyzovat pomocí Gurux-DLMS Překladač [44], kde je možné zobrazit XML překlad, který je vidět níže, a kde je uveden v „InstanceId Value“ dotaz v podobě OBIS kódu na aktuální napětí na první fázi. Následná odezva „UInt16 Value“, překlad těchto hodnot je uveden níže, kde hodnota napětí je 239 V. Komunikace je zobrazena na obrázku 4.3.

$$(01\ 00\ 20\ 07\ 00\ FF)_{HEX} = (1.0.32.7.0.255)_{DEC}$$

$$(00\ EF)_{HEX} = (239)_{DEC}$$

Žádost: C0 03 CE 02 00 03 01 00 20 07 00 FF 02 00 00 03 01 00 20 07 00 FF 03 00      Odezva: C4 03 CE 02 00 12 00 EF 00 02 02 0F 00 16 23

<pre> &lt;GetRequest&gt; &lt;GetRequestWithList&gt;   &lt;!--Priority: HIGH ServiceClass: CONFIRMED invokeID: 14--&gt;   &lt;InvokeIdAndPriority Value="CE" /&gt;   &lt;AttributeDescriptorList Qty="02" &gt;     &lt;AttributeDescriptorWithSelection&gt;       &lt;AttributeDescriptor&gt;         &lt;!--REGISTER--&gt;         &lt;ClassId Value="0003" /&gt;         &lt;!--1.0.32.7.0.255--&gt;         &lt;InstanceId Value="0100200700FF" /&gt;         &lt;AttributeId Value="02" /&gt;       &lt;/AttributeDescriptor&gt;     &lt;/AttributeDescriptorWithSelection&gt;     &lt;AttributeDescriptorWithSelection&gt;       &lt;AttributeDescriptor&gt;         &lt;!--REGISTER--&gt;         &lt;ClassId Value="0003" /&gt;         &lt;!--1.0.32.7.0.255--&gt;         &lt;InstanceId Value="0100200700FF" /&gt;         &lt;AttributeId Value="03" /&gt;       &lt;/AttributeDescriptor&gt;     &lt;/AttributeDescriptorWithSelection&gt;   &lt;/AttributeDescriptorList&gt; &lt;/GetRequestWithList&gt; &lt;/GetRequest&gt; </pre>	<pre> &lt;GetResponse&gt; &lt;GetResponseWithList&gt;   &lt;!--Priority: HIGH ServiceClass: CONFIRMED invokeID: 14--&gt;   &lt;InvokeIdAndPriority Value="CE" /&gt;   &lt;Result Qty="02" &gt;     &lt;Data&gt;       &lt;UInt16 Value="00EF" /&gt;     &lt;/Data&gt;     &lt;Data&gt;       &lt;Structure Qty="02" &gt;         &lt;Int8 Value="00" /&gt;         &lt;Enum Value="23" /&gt;       &lt;/Structure&gt;     &lt;/Data&gt;   &lt;/Result&gt; &lt;/GetResponseWithList&gt; &lt;/GetResponse&gt; </pre>
---	--

Obr. 4.3: DLMS žádost-odezva

Z výsledné komunikace v případě dotazu na velikosti napětí na první fázi mají celková data pro tento dotaz velikost 24 bajtů, z toho přímo registr pro hodnotu napětí má velikosti 6 bajtů, zbytek je prioritizace dotazu, popis zařízení apod. Odpověď na tento dotaz má celkovou velikost 15 bajtů, z toho pouze data s velikostí jsou 2 bajty, zbytek je opět popis zařízení a režie. Celá sekvence je na obrázku 4.4.



```

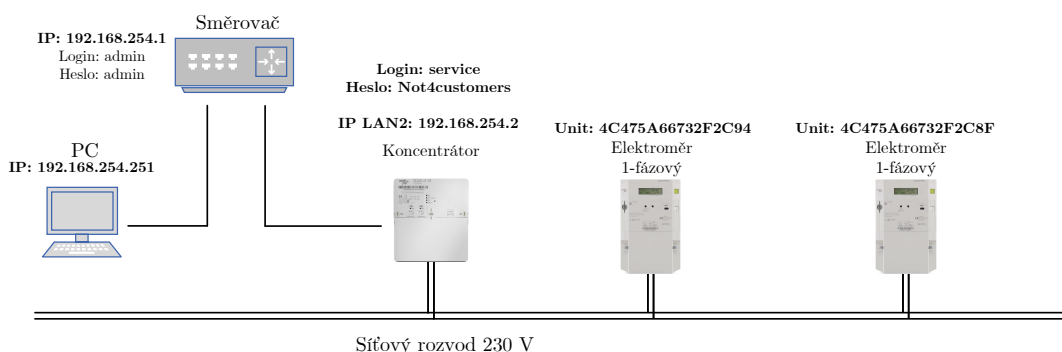
2020.12.05 19:08:19.084924 dlm : 4C475A66732F2C8F get-request      : C0,03,CE,02,00,03,01,00,20,07,00,FF,02,00,00,03,01,00,20,07,00,FF,03,00
2020.12.05 19:08:19.132742 dlm : 4C475A66732F2C94 get-request      : C0,03,C2,02,00,03,01,00,34,07,00,FF,02,00,00,03,01,00,34,07,00,FF,03,00
2020.12.05 19:08:19.372395 dlm : 4C475A66732F2C8F get-response     : C4,03,CE,02,00,12,00,EF,00,02,02,0F,00,16,23
2020.12.05 19:08:19.458045 dlm : 4C475A66732F2C94 get-response     : C4,03,C2,02,01,04,01,04

```

Obr. 4.4: DLMS Monitoring

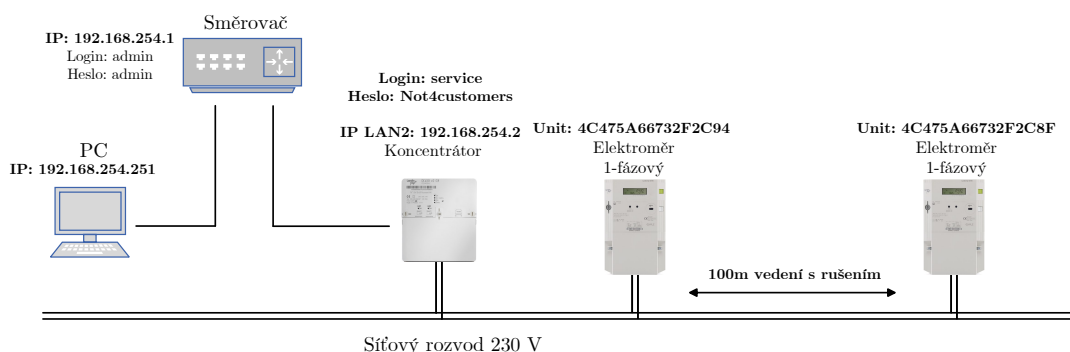
## 4.3 Změna topologie

Testování změny topologie bylo provedeno ve dvou variantách. V prvním případě byly elektroměry zapojeny v jedné zásuvkové liště viz. obrázek 4.5, aby byla vzdálenost pro komunikaci co nejkratší a mohla být určena počáteční hodnota kvality komunikace linky (LQi). Indikátor kvality spojení (LQI) je metrika zavedená v IEEE 802.15.4, která měří chybu v příchozí modulaci úspěšně přijatých paketů. Dle měření z článku [45] bylo zjištěno, že parametr LQi s narůstající vzdáleností klesá lineárně.



Obr. 4.5: Zapojení ve stejné zásuvkové liště

V diplomové práci byly použity dvě topologie dle obrázků 4.5, 4.6. První topologie sloužila, jak již bylo řečeno, k určení ideální hodnoty. A druhá topologie zobrazena na obrázku 4.6, která byla připojena na reálném elektrickém vedení s rušením od zařízení připojené na stejné fázi. Datový koncentrátor byl zapojen do stejné zásuvkové lišty spolu s jedním z jednofázových elektroměrů a druhý elektroměr byl připojen do zásuvky na druhé straně laboratoře přes 100 m prodlužovací kabel. Na stejném vedení byly zapojeny různé měřicí přístroje a notebooky. Výsledky měření jsou zobrazeny v tabulce 4.3, ze které vyplývá, že s rostoucí vzdáleností klesá i parametr LQi. Zapojení ve stejné zásuvkové liště dosáhlo vyšších hodnot, což koresponduje s [45].



Obr. 4.6: Zapojení 100 m vedení na reálné elektrické síti s rušením

Tab. 4.3: Měření kvality linky

LQi [-]				
Zapojení	DC→Meter	DC←Meter	Met1→Met2	Met1←Met2
Zásuvková lišta	101	89	92	85
100m s rušením	88	82	80	73

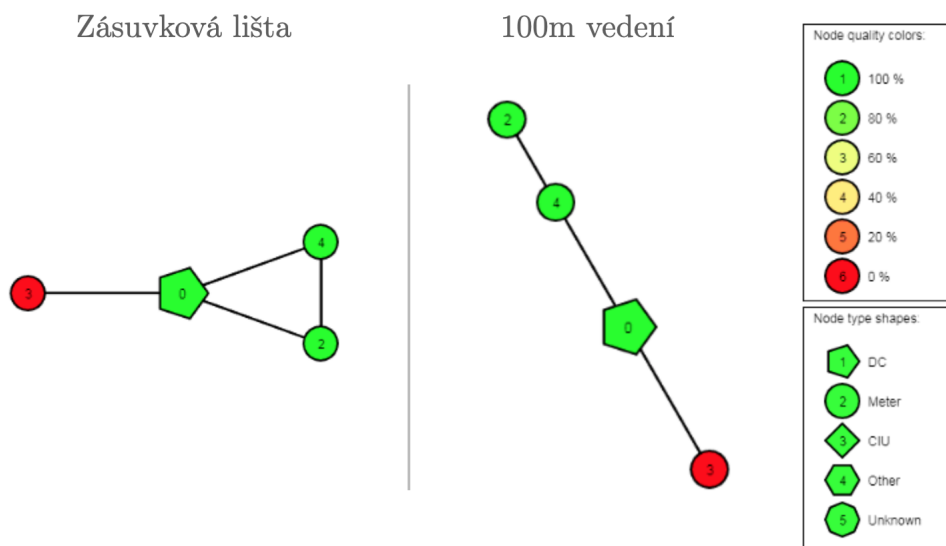
Webové rozhraní datového koncentrátoru nabízí aktuální pohled na topologii z hlediska připojených aktivních/neaktivních zařízení pomocí G3 PAN Topology. Obě zapojení jsou zobrazeny na obrázku 4.8, kde vlevo je první zapojení chytrých elektroměrů, kde oba elektroměry jsou přímo připojeny k DC (datový koncentrátor), zatímco vpravo je zapojení v reálné síti, kde je zobrazen elektroměr s označením „2“, který v přímé cestě DC nevidí a pro účely komunikace využívá elektroměr „4“. Ten funguje jako opakovač a přeposílá data pro nejvzdálenější bod. Při testování komunikace pomocí DLMS communication testu bylo naměřeno:

- $DC \rightarrow Meter4 = 272 \text{ ms}$ ,
- $DC \rightarrow Meter2 = 452 \text{ ms}$ .

Z toho je patrné, že opravdu z důvodu opakování povelu pro nejvzdálenější elektroměr vzniká zpoždění téměř dvojnásobně. To je vidět přímo z obrázku 4.7, ale také se to dá rozpoznat z obrázku 4.8, kde je zobrazeno zapojené.

2020.12.08 01:30:42		Results:			
0.002	- Sending #1 to 4C475A66732F2C8F	Unit	OK-rate	rtt min	avg
0.454	- Received #1 from 4C475A66732F2C8F rtt=452ms				max
0.458	- Sending #1 to 4C475A66732F2C94	4C475A66732F2C8F	100.0%	452	452 ms
0.730	- Received #1 from 4C475A66732F2C94 rtt=272ms	4C475A66732F2C94	100.0%	272	272 ms
0.733	- All transmits completed.				
0.733	- All receives completed.	All units	100.0%	272	362 452 ms

Obr. 4.7: DLMS communication test



Obr. 4.8: Zobrazení topologie z pohledu koncentrátoru

## 5 Testování širokopásmových modemů

Dodaný Smart Meteringový systém obsahoval průmyslové širokopásmové BPL modemy. Ty mohou najít využití v instalacích do pouličních trafostanic i rezidencí. Fungují jako Head-End modemy doplněny o internetové připojení přes elektrické vedení nebo infrastrukturu koaxiálních kabelů. Komunikační pásmo zde bylo nastaveno na 14-34 MHz. Specifikace:

- frekvenční pásmo 2-34 Mhz (nastaveno 14-34 MHz),
- modulace OFDM,
- čip DS2 funguje jako HomePlug AV200,
- fyzická rychlost až 200 Mb/s do vzdálenosti 300 m,
- nízká spotřeba okolo 7 W,
- krytí IP56,
- napájení:
  - střídavé 85-265 V, 50/60 Hz,
  - záložní stejnosměrné 12 V
- Rozhraní:
  - RJ-45 10/100BaseT Fast Ethernet,
  - RS485 Serial PortCoax Port,
  - AC Port ro napájení,
  - BPLDC Port pro napájení.
- Bezpečnostní standardy: IEEE 802.3u, 802.1P, 802.1Q, EN 50412, EN 55022, EN 55024, EN 60950

### 5.1 Simulátor vedení

Simulátor elektrického vedení zobrazen na obrázku 5.1 je hardwarové zařízení pro realistickou emulaci komunikace po elektrickém vedení. Je určeno k emulování nízkého napětí pro venkovní a vnitřní odezvu kanálu ve spektru 1,8-80 MHz. Zařízení dovoluje provádět výzkum v laboratorních podmínkách a vyhodnotit PLC modemy nebo zařízení, které jsou napájeny externě a vybaveny komunikačním portem. Je možné použít jeden nebo dva pracovní režimy. Pracovní režimy:

- Jeden port-k připojení ke komunikačnímu portu pro jedno PLC zařízení na vstup simulátoru vedení v pořadí, aby bylo možné načíst zařízení na typickou impedanci vedení a umožnit analogový počáteční test.
- Dva porty-k připojení ke komunikačnímu portu pro PLC zařízení vysílá na vstup simulátoru vedení, zatímco komunikační port dalšího PLC zařízení přijímá na výstupním portu simulátoru vedení, kde dojde ke komunikačnímu testu.

Simulátor je vybaven BNC konektory (vstupní a výstupní porty) a otočným regulátorem, který umožňuje vybrat typickou odezvu kanálu a související impedance linky pro vnitřní i venkovní scénáře. Simulátor nepodporuje napájení PLC modemů a vstupní i výstupní porty musí být použity pouze pro komunikační signál s maximálním stejnosměrným napětím nepřekračující 10 V. Specifikace:

- frekvenční pásmo 1,8-80 MHz,
- maximální vstupní napětí 10 V,
- čtyři BNC (male) konektory pro:
  - 1 vstupní a 1 výstupní port pro venkovní scénář,
  - 1 vstupní a 1 výstupní port pro vnitřní scénář,
  - BNC konektory a hliníková izolace sdílí stejné uzemnění [46].



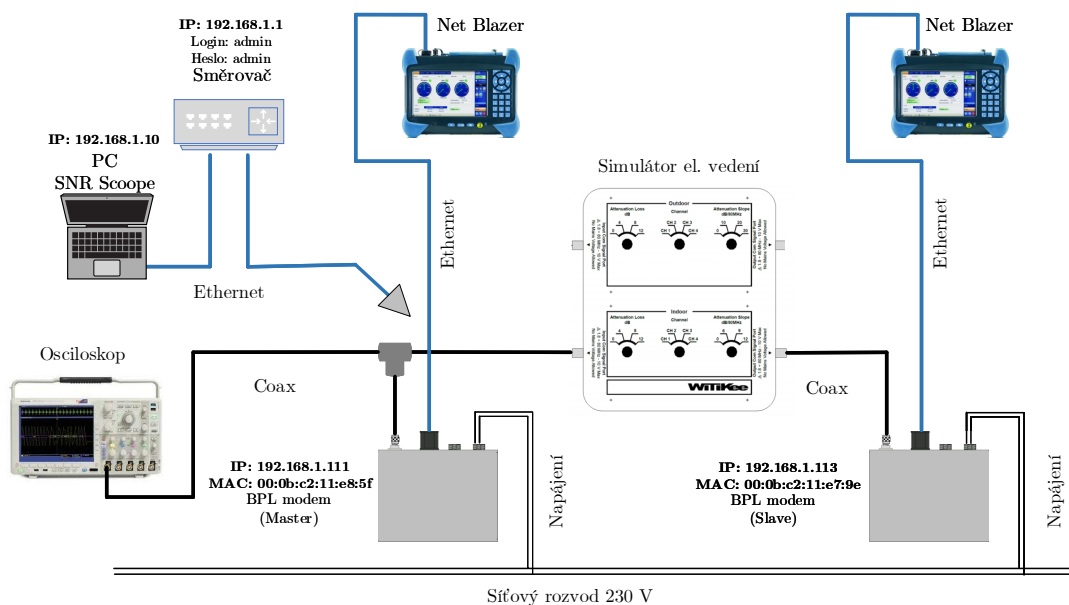
Obr. 5.1: Simulátor vedení WitikEE

Pro každý scénář jsou zde tři přepínače: útlum signálu, výběr kanálu a sklon útlumu, kde každý obsahuje 4 možnosti.

## 5.2 Měření BPL modemů

Při testování limitních vlastností komunikace mezi BPL modemy, byl využit již zmíněný simulátor elektrického vedení, kde bylo nastaveno několik vybraných kombinací

útlumu, kanálů a sklonu útlumu. Zapojení je na obrázku 5.2.



Obr. 5.2: Schéma zapojení

Při měření byly využity přístroje Exfo FTB-Pro, které byly přes rozhraní ethernet připojeny k BPL modemům. Tyto přístroje nabízí několik metodik měření. Zde bylo využito metodiky RCF 2544, RFC 6349 a TCP Throughput. Výsledky z těchto metodik vždy zobrazují průměrnou hodnotu z celé doby měření. Metodiky měření:

- Standart RFC 2544 funguje na principu UDP protokolu, tedy nespojovaný nepotvrzovaný protokol, který nezaručuje správné doručení. Může být provedeno pro různé velikosti rámců.
- Standart RFC 6349 při inicializaci měření je stanovena velikost TCP okna, které určuje množství přenášených dat. Ta je důležitá pro bezchybné doručení informací, kdy velikost okna je závislá na kapacitě sítě a nesmí ji překročit. Vhodné nastavení a řízení okna ovlivňuje výslednou komunikaci.
- Metodika TCP Throughput, na rozdíl od RFC 6349 upravuje za běhu testování velikost okna v určitém rozmezí pro dosažení nejvhodnější propustnosti. A je možné říci, že je to nejvhodnější metodika testování v této práci.

Testování kvality linky za pomoci nástroje SNR scope:

- Poměr odstupu signálu od šumu – SNR [dB],
- Frekvenční odezva přenosového kanálu – CFR [dB].

Byly vybrány výsledky pro tyto scénáře z několika možných kombinací nastavení simulátoru elektrické sítě kvůli nejrelevantnějším výsledkům, protože při obdobných nastaveních nedošlo téměř k žádným změnám jak u SNR, tak u propustnosti.

Tab. 5.1: Tabulka nastavených kombinací pro vybrané scénáře

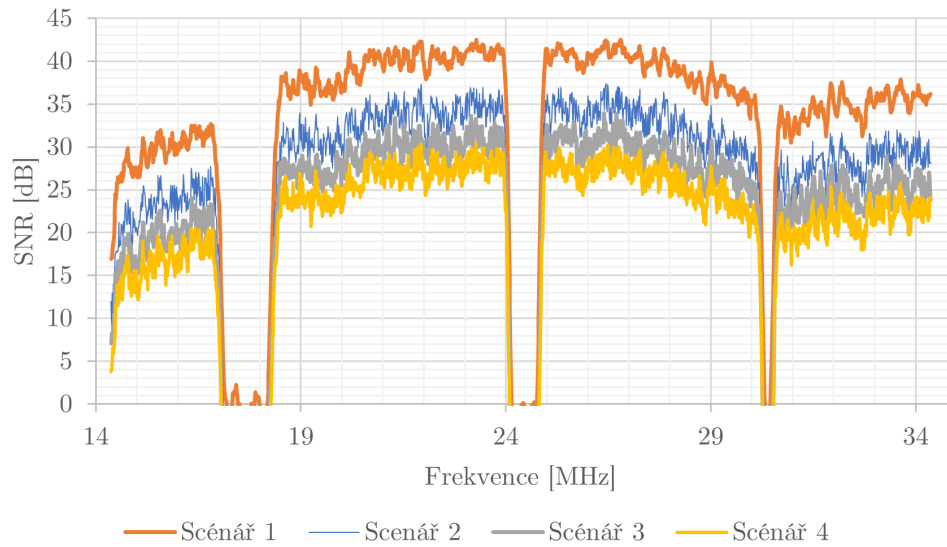
Nastavení scénářů				
Scénář	1	2	3	4
Útlum [dB]	0	4	8	12
Kanál (ch1-ch4)	2	1	3	4
Sklon útlumu [dB/80 MHz]	0	6	9	12

### 5.2.1 Výsledky kvality linky

Při měření kvality linky byly primární parametry pro určení limitů komunikace poměr odstupu signálu od šumu (SNR), frekvenční odezva kanálu (CFR) a útlum signálu. Pro parametr SNR, který určuje kvalitu přijímaného signálu platí, že čím je jeho hodnota vyšší, tím je nižší útlum signálu a také úroveň rušení. SNR je měřeno na každé nosné frekvenci protože tyto BPL modemy využívají OFDM<sup>1</sup> modulaci a je tím získána závislost SNR na frekvenci. Tím je možné zjistit, které části spektra obsahují vysoké úrovně rušení a útlumu. Naměřené úrovně SNR a útlumu jsou uvedeny v tabulce 5.2, kde jsou průměrné hodnoty SNR a útlumů. V prvním scénáři byly nastaveny ideální podmínky bez rušení, dále v textu označován jako „nejlepší“ scénář. Nejvyšší hodnotu zaznamenal první scénář kde byla průměrná hodnota SNR rovna 35,6 dB a zároveň nejnižší hodnota útlumu 6,56 dB. Zde byla také naměřena nejvyšší propustnost v porovnání s dalšími scénáři. Scénář 4 s nastaveným nejvyšším možným rušením, dále v textu označován jako „nejhorší“. Dosáhl průměrné hodnoty SNR 24,74 dB. Srovnání SNR všech scénářů je zobrazeno na obrázku 5.3. Rychlost na fyzické vrstvě zobrazuje teoretickou možnou rychlost přenosové linky, která je mezi modemy. Zde byla naměřena pro první scénář 44,7 Mbit/s, při porovnání s posledním „nejhorším“ scénářem kde fyzická rychlost dosáhla 26,8 Mbit/s je patrné, že kvalita přenosového kanálu zde byla výrazně horší a rychlost byla zhruba o 40 % nižší. A také při porovnání fyzické rychlosti a propustnosti TCP či UDP je opět patrný rozdíl o 30-40 % nižší propustnost na aplikační vrstvě, která je ovlivněna režii přenosu, hlavičkami na dalších vrstvách, udržování spojení i opakováním přenosu. Všechny hodnoty z měření jsou uvedeny v tabulce 5.2.

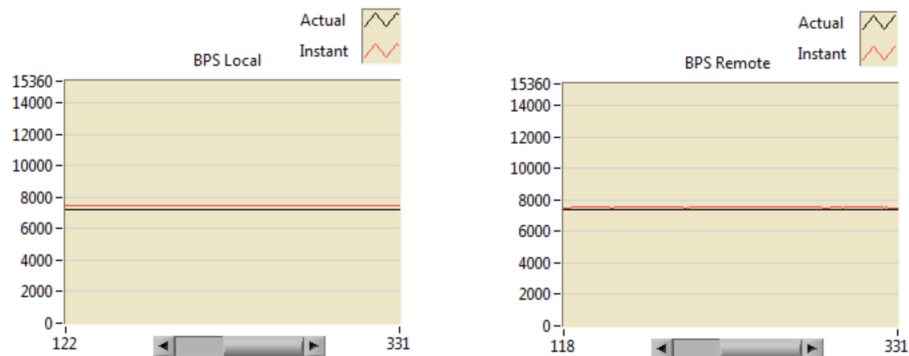
<sup>1</sup>Ortogonalní multiplex s frekvenčním dělením je širokopásmová modulace využívající frekvenční dělení kanálu

Závislost průměrného SNR na frekvenci pro scénáře



Obr. 5.3: Srovnání SNR pro scénáře

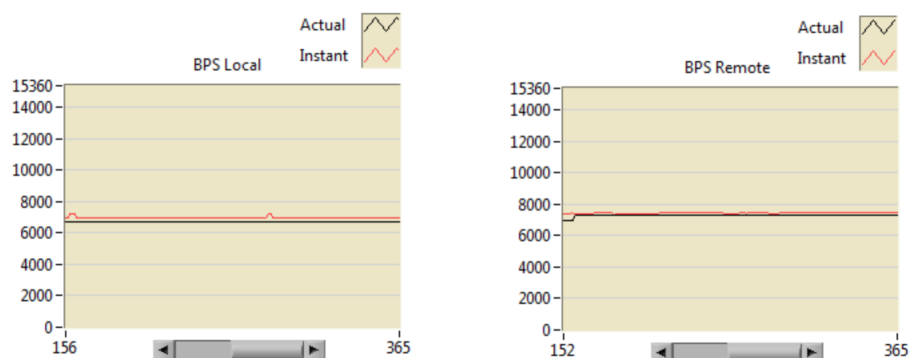
Obrázek 5.4 zobrazuje symbolovou rychlost prvního scénáře, kde černý průběh „actual“ zobrazuje sníženou rychlost kvůli robustnosti, naopak červený průběh „instant“ zobrazuje maximální možný přenosový potenciál kanálu. Z obrázku je patrné, že symbolová rychlost je ustálená pro oba průběhy, tedy na přenosovém kanálu nedocházelo k výraznému rušení a symbolová rychlost dosahovala téměř maximálního přenosového potenciálu.



Obr. 5.4: Symbolová rychlost pro 1. scénář

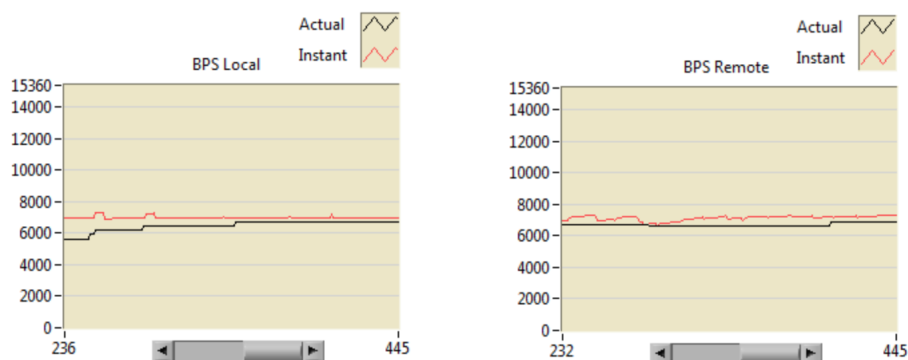
Obrázek 5.5 je symbolová rychlost druhého scénáře, kde je patrné, že vlivem nastavení rozdílné konfigurace simulátoru el. vedení konkrétně zvýšením útlumu z 0 dB na 4 dB a zároveň zvýšením sklonu útlumu na 6 dB/80MHz, došlo k mírnému poklesu symbolové rychlosti.





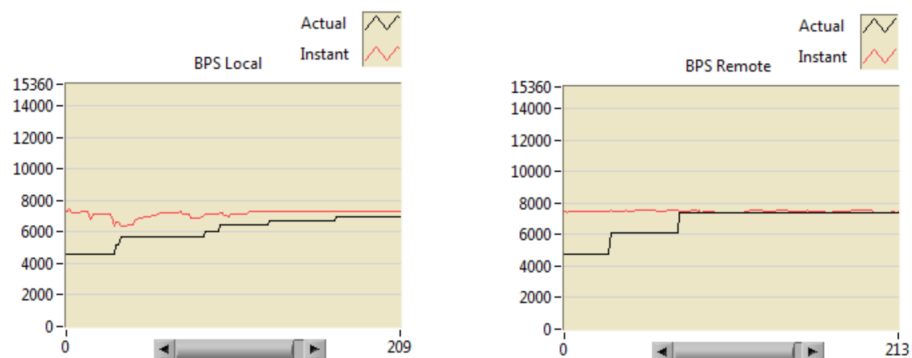
Obr. 5.5: Symbolová rychlost pro 2. scénář

Pro 3. scénář je na obrázku 5.6 patrné, že při začátku přenosu byla symbolová rychlost nižší a až v určitém čase se její rychlost ustálila, ale opět vlivem nastavení se tato rychlost ve srovnání s předešlými scénáři snížila.



Obr. 5.6: Symbolová rychlost pro 3. scénář

Poslední 4. scénář a také „nejhorší“, zobrazuje vlivem nastavení kolísající hodnoty symbolové rychlosti. Až po ustálení bylo dosaženo relativně konstantní symbolové rychlosti jak je zobrazeno na obrázku 5.7.



Obr. 5.7: Symbolová rychlost pro 4. scénář

### 5.2.2 Výsledky transportního protokolu TCP

Měřením propustnosti pomocí spolehlivého protokolu TCP měřicími přístroji EXFO, bylo naměřeno pomocí metodiky RFC6349 nejvyšší rychlosti 26,3 Mbit/s u prvního scénáře, zároveň bylo měřeno i oboustranné zpoždění RTT podle této metodiky a zde bylo naměřeno 2,1 ms. Metodika TCP Throughput, která se dá považovat za nejpřesnější pro měření TCP komunikace, zde dosáhla rychlosti 24,8 Mbit/s. Druhý scénář, kterému byl podle tabulky 5.1 nastaven útlum na 4 dB, kanál 1, a sklon útlumu 6 dB/MHz dosáhl propustnosti TCP dle RFC6349 25,7 Mbit/s s RTT 3,1 ms a dle TCP Throughput rychlost 25,9 Mbit/s. Zde byly potvrzeny teoretické předpoklady a došlo ke snížení propustnosti a zvýšení RTT. Stejně tomu bylo u třetího a čtvrtého scénáře. Nejnižší propustnosti dosáhl poslední uvedený scénář, kde vlivem konfigurace simulátoru el. vedení bylo naměřeno 19,4 Mbit/s dle RFC6349 s RTT 3,2 ms a 20,1 Mbit/s dle TCP Throughput.

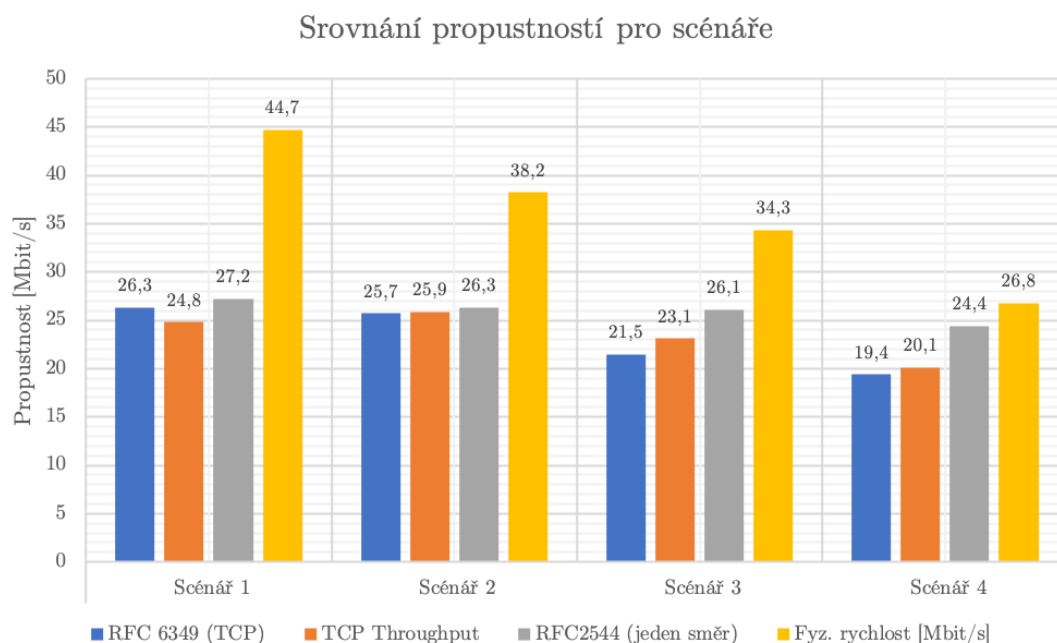
### 5.2.3 Výsledky transportního protokolu UDP

Měření propustnosti transportním protokolem UDP, který nezaručuje doručení, byla prováděna pomocí měřících přístrojů EXFO s nástrojem Netblazer, kde byla využita metodika dle RFC2544. Konfigurace byla optimalizována tak, aby bylo dosaženo maximální propustnosti a zároveň minimální ztrátovosti. Proto bylo nutné určit správnou velikost datového toku a velikost rámce. Velikost rámce byla stanovena na 1518 B, to je hodnota která opravdu proudí po síti a tato velikost rámce respektive objem přenášených dat může výrazně ovlivnit přenosové parametry. Výsledky tohoto měření jsou průměrné hodnoty. Zároveň bylo měřeno obousměrné zpoždění. V prvním „nejlepším“ scénáři bylo dosaženo UDP propustnosti 27,2 Mbit/s s nulovou chybovostí a zpožděním 253,5 ms. Poslední uvedený čtvrtý „nejhorší“ scénář dosáhl UDP propustnosti 24,4 Mbit/s s opět nulovou chybovostí a zpožděním 303,6 ms. Při srovnání druhého a třetího scénáře je možné vidět, že dosahovaly podobných výsledků propustností kdy druhý scénář dosáhl o 0,3 Mbit/s vyšší UDP propustnosti a o 7,3 ms nižšího zpoždění. Při srovnání propustností UDP a TCP u těchto dvou scénářů je výraznější rozdíl u TCP protokolu kde byl rozdíl 2,8 Mbit/s. To odpovídá teoretickým předpokladům, že nepotvrzovaný UDP protokol dosahuje vyšší propustnosti. Opět všechny výsledky jsou v tabulce 5.2.

### 5.2.4 Souhrn výsledků pro BPL modemy

Zde jsou zobrazeny výsledky čtyř scénářů, které se dají považovat za relevantní, protože při různých konfiguracích simulátoru vedení docházelo k obdobným výsledkům SNR, propustností, zpoždění atd. Výsledky měření propustností a fyzické rychlosti

jsou na obrázku 5.8, kde je patrné, že při ovlivňování parametrů vedení došlo k nejvýraznějšímu rozdílu u fyzické rychlosti. Srovnáním scénáře 1 a 4 je zde propad o téměř 18 Mbit/s pro fyzickou rychlost. Srovnání rychlosti fyzické vrstvy s propustností UDP a TCP poukazuje na to, že transportní protokoly UDP a TCP vykazují nižších rychlostí, protože s každou další vrstvou se přidávají hlavičky a určitá režie, což se projeví poklesem propustnosti. Scénář 4 je zde jako „nejhorší“, protože na simulátoru bylo nastaveno nejvyšší možné rušení. Jeho výsledky propustností i SNR (obrázek 5.3) pořád vykazují oproti teoretickým předpokladům lepších výsledků o 30 %. Pro dosažení většího ovlivnění, by bylo nutné využít delšího komunikačního vedení mezi modemy. Limitní hodnota SNR pro komunikaci se pohybuje okolo 3-5 dB, kdy jsou BPL modemy schopny navázat komunikaci a zde bylo naměřeno v průměru 24,74 dB, což lze považovat za dostatečnou hodnotu pro stabilní komunikaci a bezchybný přenos dat. Což je potvrzeno i nulovou chybovostí přenosu.



Obr. 5.8: Srovnání výsledků propustností

Tab. 5.2: Souhrn naměřených výsledků

Měření						
	Parametr	Test	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4
TCP	Propustnost [Mbit/s]	RFC 6349	26,3	25,7	21,5	19,4
TCP	Propustnost [Mbit/s]	TCP Throughput	24,8	25,9	23,1	20,1
TCP	RTT [ms]	RFC 6349	2,1	3,1	3,1	3,2
UDP	Propustnost [Mbit/s]	RFC2544 (jeden směr)	27,2	26,3	26,1	24,4
UDP	Chybovost [%]	RFC2544 (jeden směr)	0	0	0	0
UDP	RTT [ms]	Loopback (oba směry)	253,5	278,2	285,5	303,6
Kvalita linky	Fyz. rychlost [Mbit/s]	(průměr)	44,7	38,2	34,3	26,8
Kvalita linky	Útlum [dB]	(průměr)	6,56	7,73	9,67	10,3
Kvalita linky	SNR [dB]	(průměr)	35,6	27,83	25,6	24,74

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo seznámit se s možnostmi komunikace PLC technologie pro dálkový sběr dat neboli Smart Metering. V teoretické části byla rozebrána technologie PLC, která umožňuje přenášet data po elektrickém vedení. Byly popsány charakteristické vlastnosti PLC, podle kterých je možné zvolit vhodný systém podle využití pro komunikaci či přenos většího množství dat. Pro dodaný systém bylo jedním z úkolů navrhnout vhodnou metodiku testování, která poodhalí možnosti a vlastnosti komunikace. Metodika byla popsána v kapitole 3. Metodika obsahuje vyčtení hodnot registrů jako je napětí na fázi či frekvence elektrického vedení, synchronizace času, povelování apod.

Výsledky testování jsou v kapitole 4, kde bylo otestováno vyčtení různých hodnot z elektroměrů. Tyto výsledky můžeme vidět v tabulce 4.2, kde pomocí OBIS kódů bylo dosaženo například vyčtení hodnoty napětí na první fázi  $L_1 = 239\text{ V}$  nebo aktuálně aktivní tarif elektroměru. Další test obsahoval změnu topologie, kde došlo k prodloužení vedení dle schémat 4.5, a 4.6. To vedlo k tomu, že komunikace pro nejvzdálenější elektroměr probíhala přes jeho souseda, který fungoval jako opakovač a přeposílal data, a to vedlo z pohledu datového koncentrátoru ke změně topologie. Tyto změny jsou zobrazeny na obrázku 4.8, zde se provádělo měření kvality linky a bylo prokázáno, že s narůstající délkou vedení klesá parametr  $LQ_i$ . První zapojení mělo hodnotu (ve směru DC → Elektroměr)  $LQ_i=101$  a u druhého zapojení (ve směru DC → Elektroměr)  $LQ_i=88$ .

Protože k prvnímu PLC systému s elektroměry nebyla dodána centrála, došlo po domluvě s vedoucím práce k rozšíření o další PLC systém. Druhý PLC systém obsahoval širokopásmové BPL modemy. S pomocí simulátoru vedení, který je schopen simulovat útlum na vedení, měnit kanály a sklon útlumu, byly vytvořeny scénáře, které ovlivňovaly kvalitu komunikace a bylo možné tak zjistit limity a parametry komunikace těchto BPL modemů. Bylo navrženo schéma zapojení (kapitola 5) a scénáře s různými kombinacemi nastavení simulátoru el. vedení pro ovlivnění přenosových parametrů. Například první scénář měl nejideálnější podmínky, nastavený útlum=0 dB, kanál 2, a sklon útlumu také 0 dB/80MHz. Naopak poslednímu čtvrtému scénáři byl nastaven útlum=12 dB, kanál 4 a sklon útlumu=12 dB/80MHz, více je uvedeno v kapitole 5.2. Zde proběhlo rozsáhlé testování, avšak byly prezentovány výsledky pro čtyři scénáře, protože jejich výsledky byly relevantní na rozdíl od dalších, kde docházelo k obdobným výsledkům SNR, propustnosti apod. Bylo využito testování dle standardů RFC2544 a RFC6349 a metodiky TCP Throughput. První tzv. nejlepší scénář dosáhl průměrné hodnoty  $SNR=35,6\text{ dB}$  s útlumem 6,56 dB. Propustnost UDP byla 27,2 Mbit/s s nulovou chybovostí. Při srovnání se čtvrtým nejhorším scénářem je zde patrný pokles pro všechny měřené parametry,

hodnota SNR dosahovala 24,74 dB s útlumem 10,3 dB s UDP propustností 24,4 dB opět s nulovou chybovostí. Porovnání propustností je na obrázku 5.8, souhrn výsledků je v kapitole 5.2.4. Avšak s pomocí simulátoru vedení nebylo dosaženo limitních parametrů pro přenos, protože tyto průmyslové BPL modemy jsou velmi robustní a odolávají i většímu rušení. Prahová hodnota SNR kdy jsou ještě BPL modemy schopny navázat komunikaci je při 3-5 dB. Pro dosažení většího ovlivnění parametrů by musela být větší délka vedení.

Hlavním úkolem bylo navrhnout demonstrační laboratorní úlohu pro Smart Metering s dodávaným systémem. Protože byly dodány dva PLC systémy, byly také navrženy dvě laboratorní úlohy, kdy každá se věnuje jiným oblastem PLC. Obě jsou v příloze této práce. První úloha se zabývá úzkopásmovým PLC systémem s elektroměry a koncentrátorem. Zde se věnuje pozornost konfiguraci a odečítání parametrů z elektroměrů pomocí koncentrátu, povelování a zachycení DLMS komunikace, více v příloze A. Druhá laboratorní úloha v příloze B, se zaměřuje na širokopásmové BPL modemy, kde se ovlivňováním parametrů a rušením testuje robustnost komunikace tohoto systému na rušení.

# Literatura

- [1] SCHWARTZ, Mischa. *Carrier-wave telephony over power lines: Early history* [History of Communications]. IEEE Communications Magazine [online]. 2009, 47(1), 14-18 [cit. 2020-11-15]. ISSN 0163-6804. Dostupné z: doi:10.1109/MCOM.2009.4752669
- [2] PRAVDA, Ivan. *Využívání silnoproudých vedení a sítí pro přenos zpráv*. V Praze: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2012. ISBN 978-80-0105-168-9. Dostupné z URL:<<https://publi.cz/books/256/02.html>>.
- [3] JIŘÍ, Peterka. *Powerline, aneb přenos dat po 220 voltech*. [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z URL:<<http://www.earchiv.cz/b01/b0500001.php3>>.
- [4] HRASNICA, Halid a Abdelfatteh HAIDINE. *Broadband powerline communications networks: network design*. 1. Chichester: John Wiley. ISBN 0-470-85741-2.
- [5] PROCHÁZKA, Radek. *Venkovní vedení VVN (I)*. [online]. 21.5.2007 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z URL:<<https://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4142-venkovni-vedeni-vvn-i>>.
- [6] GALLI, Stefano, Anna SCAGLIONE a Zhifang WANG. *For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid*. Proceedings of the IEEE. 2011, 99(6), 998-1027. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2109670. ISSN 0018-9219. Dostupné z URL:<<http://ieeexplore.ieee.org/document/5768099/>>.
- [7] DOSTERT, Klaus. *Powerline communications. Upper Saddle River: Prentice Hall*, 2001. ISBN 978-0130293428.
- [8] NORDELL, Daniel E. *Communication systems for Distribution Automation*. In: 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition [online]. IEEE, 2008, 2008, s. 1-14 [cit. 2020-11-23]. ISBN 978-1-4244-1903-6. Dostupné z: doi:10.1109/TDC.2008.4517284
- [9] *European Committee for Electrotechnical Standardization CENELEC*. [online]. 2010 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z URL:<<https://www.cenelec.eu>>.
- [10] 50065-1:2001: *Specification for signalling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148.5 kHz. General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances CENELEC*, 2010.

- [11] *National Telecommunications and Information Administration: United States Department of Commerce* [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z URL:<<https://www.ntia.doc.gov/book-page/federal-communications-commission-fcc>>.
- [12] Association of Radio Industries and Businesses [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z URL:<[https://www.arib.or.jp/english/arib/about\\_arib.html](https://www.arib.or.jp/english/arib/about_arib.html)>.
- [13] OMRI, Aymen, Javier HERNANDEZ FERNANDEZ, Alfredo SANZ a Mariam R. FLISS. *PLC Channel Selection Schemes for OFDM-based NB-PLC Systems*. In: 2020 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC) [online]. IEEE, 2020, 2020, s. 1-6 [cit. 2020-11-23]. ISBN 978-1-7281-4816-8. Dostupné z: doi:10.1109/ISPLC48789.2020.9115404
- [14] KATAYAMA, M., T. YAMAZATO a H. OKADA. *A mathematical model of noise in narrowband power line communication systems*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2006, 24(7), 1267-1276. DOI: 10.1109/JSAC.2006.874408. ISSN 0733-8716. Dostupné také z URL:<<http://ieeexplore.ieee.org/document/1650328/>>.
- [15] ZIMMERMANN, M. a K. DOSTERT. *Analysis and modeling of impulsive noise in broad-band powerline communications*. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 44(1), 249-258. DOI: 10.1109/15.990732. ISSN 00189375. Dostupné také z URL:<<http://ieeexplore.ieee.org/document/990732/>>.
- [16] VANČATA, P. *Standardizace širokopásmových systémů přenosu po energetickém vedení*. [online]. 05. 12. 2005 [cit. 2018-12-12]. ISSN 1214-9675. Dostupné z URL:<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005112801>>.
- [17] ZIMMERMANN, M. a K. DOSTERT. *Analysis and modeling of impulsive noise in broad-band powerline communications*. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility [online]. 44(1), 249-258 [cit. 2020-11-25]. ISSN 00189375. Dostupné z: doi:10.1109/15.990732
- [18] MLYNEK, Petr, Jiri MISUREC a Martin KOUTNY. *Noise modeling for power line communication model*. In: 2012 35th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP) [online]. IEEE, 2012, 2012, s. 282-286 [cit. 2020-11-25]. ISBN 978-1-4673-1118-2. Dostupné z: doi:10.1109/TSP.2012.6256299



- [19] TAN, Zhouwen, Hongli LIU, Ziji MA a Yun CHENG. *Estimation of Impulse Noise Parameters in Power Line Communication*. In: 2017 International Conference on Computer Technology, Electronics and Communication (ICCTEC) [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 1464-1467 [cit. 2020-11-25]. ISBN 978-1-5386-5784-3. Dostupné z: doi:10.1109/ICCTEC.2017.00320
- [20] DOSTERT, Klaus. *Powerline communications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, c2001. Prentice Hall communications engineering and emerging technologies series. ISBN 01-302-9342-3.
- [21] GALLI, S., M. KOCH, H. A. LATCHMAN, S. LEE a V. OKSMAN. *Industrial and International Standards on PLC-Based Networking Technologies*. Power Line Communications. Chichester, UK, 2010, 2010-05-07, 363-412. DOI: 10.1002/9780470661291.ch7. ISBN 9780470661291. Dostupné z URL:<<http://doi.wiley.com/10.1002/9780470661291.ch7>>.
- [22] MIŠUREC, Jiří a Petr MLÝNEK. *Power Line Communication pro Smart Metering a Smart Grid – současné možnosti.*: Referáty konference ČK CIRED. Praha: Český komitét CIRED, 2014. ISBN 978-80-905014-3-0.
- [23] European Commission [online]. 31. Července 2014 [cit. 2020-11-25]. Dostupné z URL:<[https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters/overview\\_en/](https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters/overview_en/)>.
- [24] BANSAL, Pooja a Ajmer SINGH. *Smart metering in smart grid framework: A review*. In: 2016 Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC) [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 174-176 [cit. 2020-11-25]. ISBN 978-1-5090-3669-1. Dostupné z: doi:10.1109/PDGC.2016.7913139
- [25] LI, Fangxing, Wei QIAO, Hongbin SUN, Hui WAN, Jianhui WANG, Yan XIA, Zhao XU a Pei ZHANG. *Smart Transmission Grid: Vision and Framework*. IEEE Transactions on Smart Grid [online]. 2010, 1(2), 168-177 [cit. 2020-11-25]. ISSN 1949-3053. Dostupné z: doi:10.1109/TSG.2010.2053726
- [26] *LESSMARTGRIDS* [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z URL:<<https://les-smartgrids.fr/numerisation-energie-revolution-smart-grids/>>.
- [27] KHAN, Fahad, Atiq ur REHMAN, Muhammad ARIF, Muhammad AFTAB a Baber Khan JADOON. *A survey of communication technologies for smart grid connectivity*. In: 2016 International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering (ICE Cube) [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 256-261 [cit. 2020-11-25]. ISBN 978-1-5090-1252-7. Dostupné z: doi:10.1109/ICECUBE.2016.7495234

- [28] CHREN, Stanislav, Bruno ROSSI a Tomas PITNER. *Smart grids deployments within EU projects: The role of smart meters*. In: 2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP) [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 1-5 [cit. 2020-11-25]. ISBN 978-1-5090-1116-2. Dostupné z: doi:10.1109/SCSP.2016.7501033
- [29] VILAS, Velhal Geeta, Avani PUJARA, S.M. BAKRE a V. MURALIDHARA. *Implementation of metering practices in smart grid*. In: 2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM) [online]. IEEE, 2015, 2015, s. 484-487 [cit. 2020-11-25]. ISBN 978-1-4799-9854-8. Dostupné z: doi:10.1109/ICSTM.2015.7225465
- [30] ZABALLOS, Agustin, Alex VALLEJO a Josep SELGA. *Heterogeneous communication architecture for the smart grid*. IEEE Network [online]. 2011, 25(5), 30-37 [cit. 2020-11-27]. ISSN 0890-8044. Dostupné z: doi:10.1109/MNET.2011.6033033
- [31] BARAI, Gouri R., Sridhar KRISHNAN a Bala VENKATESH. *Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review*. In: 2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC) [online]. IEEE, 2015, 2015, s. 138-145 [cit. 2020-11-30]. ISBN 978-1-4799-7662-1. Dostupné z: doi:10.1109/EPEC.2015.7379940
- [32] SOOD, V.K., D. FISCHER, J.M. EKLUND a T. BROWN. *Developing a communication infrastructure for the Smart Grid*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. IEEE, 2009, 2009, 24(7), 1-7. DOI: 10.1109/EPEC.2009.5420809. ISBN 978-1-4244-4508-0. ISSN 0733-8716. Dostupné také z URL:<<http://ieeexplore.ieee.org/document/5420809/>>.
- [33] NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY. *The NETL Modern Grid Strategy Powering our 21st-Century Economy: Advanced Metering Infrastructure* [online]. In: . USA: U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Jan. 31, 2008 [cit. 2020-11-30]. Dostupné URL:<[https://www.smartgrid.gov/document/netl\\_modern\\_grid\\_strategy\\_powering\\_our\\_21st\\_century\\_economy\\_advanced\\_metering\\_infrastructur/](https://www.smartgrid.gov/document/netl_modern_grid_strategy_powering_our_21st_century_economy_advanced_metering_infrastructur/)>.
- [34] WENPENG LUAN, Duncan SHARP a Stephen LAROY. *Data traffic analysis of utility smart metering network*. In: 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting [online]. IEEE, 2013, 2013, s. 1-4 [cit. 2020-11-30]. ISBN 978-1-4799-1303-9. Dostupné z: doi:10.1109/PESMG.2013.6672750

- [35] MLÝNEK, Petr a Ján SLÁČIK. *Experimentální porovnání úzkopásmové PLC komunikace postavené na jedné nosné a více nosných frekvencích*. Elektrotech [online]. 2016, (5) [cit. 2018-12-06]. ISSN 1213-1539. Dostupné z URL:<<https://1url.cz/6MNe7>>.
- [36] SVOBODA, Jaroslav. *Využívání silnoproudých vedení a sítí pro přenos zpráv*. V Praze: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2012. ISBN 978-80-0105-168-9.
- [37] *Landisgyr* [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z URL:<<https://www.landisgyr.cz/product/landisgyr-dc450/>>.
- [38] *Ultrateh* [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z URL:<[https://ultrateh.org/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2016/02/DC450-presentation.pdf](https://ultrateh.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2016/02/DC450-presentation.pdf)>.
- [39] *Landisgyr* [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z URL:<<https://www.landisgyr.cz/product/landisgyr-e450/>>.
- [40] *Dlms* [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z URL:<<https://www.dlms.com/dlms-cosem/overview>>.
- [41] *Green Book: Architecture and Protocols DLMS* [online]. 9. Switzerland: DLMS User Association, 2017 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z URL:<[https://www.dlms.com/files/Green\\_Book\\_Edition\\_9-Excerpt.pdf](https://www.dlms.com/files/Green_Book_Edition_9-Excerpt.pdf)>.
- [42] *Enectiva* [online]. [cit. 2020-12-11]. Dostupné z URL:<<https://tech.enectiva.cz/cs/instrukce-k-instalaci/ostatni/vyznam-obis-kodu/>>.
- [43] *Promotic* [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z URL:<[https://www.promotic.eu/en/pmdoc/Subsystems/Comm/PmDrivers/IEC62056\\_OBIS.htm#:~:text=The%20OBIS%20code%20identifies%20the,and%20B%20\(see%20further\).>](https://www.promotic.eu/en/pmdoc/Subsystems/Comm/PmDrivers/IEC62056_OBIS.htm#:~:text=The%20OBIS%20code%20identifies%20the,and%20B%20(see%20further).>)>.
- [44] *Gurux* [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z URL:<<http://www.gurux.fi/GuruxDLMSTranslator?translate=>>>.
- [45] CHEHRI, Abdellah, Gwanggil JEON a Byoungjo CHOI. *Link-Quality Measurement and Reporting in Wireless Sensor Networks*. Sensors [online]. 2013, 13(3), 3066-3076 [cit. 2020-12-07]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s130303066
- [46] *Guidelines for the use of the Power Line Communication Hardware Channel Emulator (HACE)*. Udine - Italy, 2020.

# Seznam příloh

<b>A</b>	<b>Laboratorní úloha 1</b>	<b>52</b>
A.1	Koncentrátor s elektroměry . . . . .	52
<b>B</b>	<b>Laboratorní úloha 2</b>	<b>57</b>
B.1	Širokopásmové BPL . . . . .	57
<b>C</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>64</b>

# A Laboratorní úloha 1

## Cíl

Cílem laboratorní úlohy je seznámit se s problematikou Smart-metering a vyzkoušet funkce a povely webového rozhraní koncentrátoru, pomocí kterého je možné konfigurovat a částečně ovládat elektroměry.

## Úvod

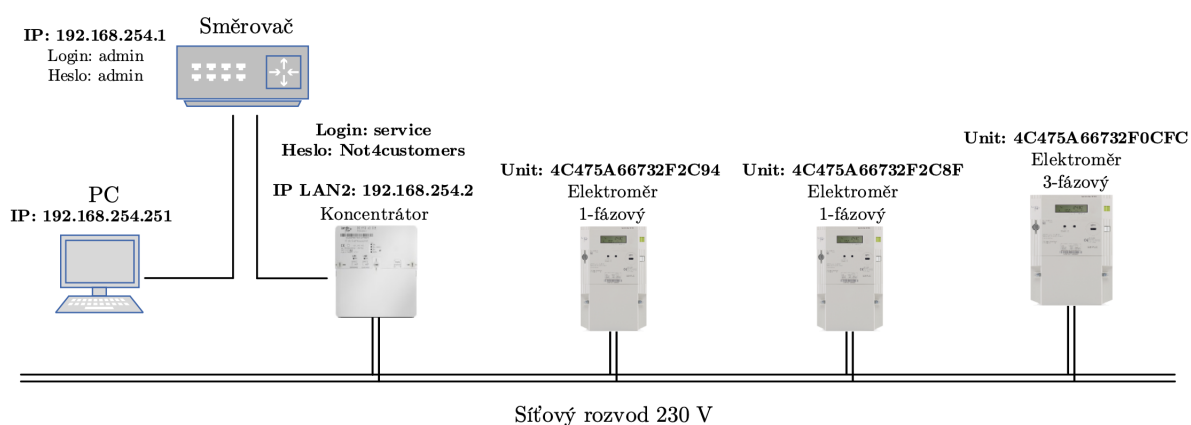
V současné době se přenášení dat stává každodenní záležitostí. Jako přenosové medium je možné využít i elektrickou rozvodnou síť, kde se využívá technologie PLC (Power Line Communications). Datový signál se dle potřeby moduluje na frekvence od jednotek KHz po desítky MHz. Následně se signál injektuje pomocí vazebních členů do elektrické sítě.

Zde budeme pracovat dvěma typy zařízení. Prvním jsou chytré elektroměry, které využívají úzkopásmové komunikace v pásmu 5-95 kHz neboli Cenelec-A.

Taková PLC síť se používá Network Management systém (NMS), kde je kromě monitoringu možná i správa a konfigurace sítě PLC. V této laboratorní úloze bude pro účely NMS využito webové rozhraní koncentrátoru, odkud bude prováděna konfigurace a monitorování.

## A.1 Koncentrátor s elektroměry

Na obrázku A.1 je schéma zapojení. Jak můžete vidět skládá se z koncentrátoru, který plní funkci NMS a elektroměrů.



Obr. A.1: Schéma zapojení

## Postup

1. Pokud není k dispozici router (není nutný), nejprve nastavte statickou IP adresu na PC tak, aby byla zařízení ve stejném rozsahu, vše podle obrázku A.1.
2. Připojte UTP kabelem (RJ-45) PC a koncentrátor do směrovače a nastavte IP adresy dle obrázku A.1.
3. V prohlížeči přejděte na vnější IP adresu koncentrátoru a vstupte do webového rozhraní.
4. Zapojte do elektrické sítě oba elektroměry a počkejte na jejich registraci v koncentrátoru. Pro přihlášení do koncentrátoru použijte přihlašovací údaje:

**Login: service**

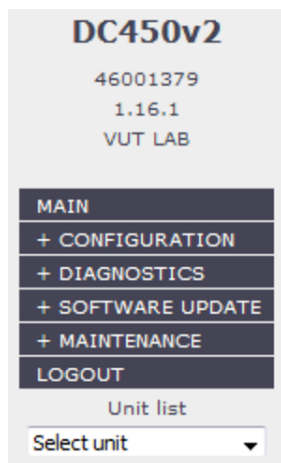
**Password: Not4customers**

Pokud by přihlášení nefungovalo, využijte náhradní přihlašovací údaje s omezenějšími možnostmi konfigurace:

**Login: Admin**

**Password: QL@K1Thl**

5. Po přihlášení se vám zobrazí hlavní menu, které se skládá ze rozevíracího seznamu dle obrázku A.2.



Obr. A.2: Hlavní menu

6. Zde jako první zjistíte, zda se elektroměry připojily ke koncentrátoru. V menu vyberte „DIAGNOSTICS“ ⇒ „PLC“ ⇒ „G3 PAN TOPOLOGY“. Zde se zobrazuje aktuální topologie zapojení i s kvalitou spojení. Až je vše připojeno, postupte dále.
7. Důležitá je záložka „CONFIGURATION“, kde se provádí konfigurace koncentrátoru i elektroměrů.

- Klikněte na „CONFIGURATION“ a poté na panel „Readings“. Zde se nastavuje vyčítání parametrů z elektroměrů pomocí „Object ID“ nebo-li OBIS kódů.
- Když chcete začít monitorovat nějaký parametr (napětí na fázi, frekvenci sítě, odběr elektroměru apod.), je zapotřebí vytvořit profil pod určitým číslem, kde poté nastavíte všechny parametry do jednoho profilu. Otevřete políčko „Create reading profile“, příklad nastavení je zobrazen na obrázku A.3. Nastavte profil pro několik parametrů.

Type	Object id	Capture period	Retro time (days)	History count	Priority (Smaller is higher)
Register	0-0:96.14.0*255	1 hour	10	1000	2
Register	1-0:32.7.0*255	1 hour	10	1000	2
Register	1-0:1.7.0*255	1 hour	10	1000	2

Obr. A.3: Nastavení registrů

- Po nastavení profilu jej přiřadte k elektroměru pomocí záložky „SET UNIT READING PROFILE“ a dle obrázku A.4 vložte ID elektroměru a číslo vytvořeného profilu. To si ověřte v hlavním menu vlevo dole položka „Unit list“, kde vyberte právě ten elektroměr a zobrazí se vám podrobné informace o elektroměru včetně nastaveného profilu v sekci „Readings“.

**Select profile**

Unit ID	4C475A67729F0CFC	...
Reading profile id	14	
		Set

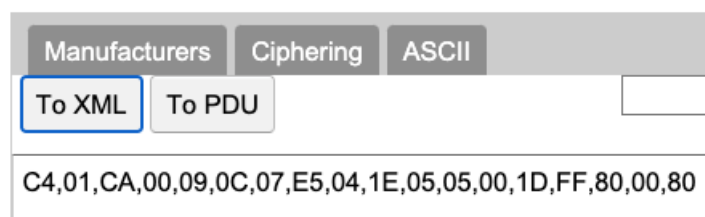
Obr. A.4: Nastavení profilu k elektroměru

Na obrázku níže je zobrazen nastavený profil pro vyčítání několika parametrů. Pokud číslo registru začíná „0“, je to označení pro abstraktní objekt a pokud „1“, je to označení pro elektřinu.

Item	Register id	Priority	Type	Capture period	History count	Retrospective time (days)	Last reading time
1	<a href="#">0-0:1.0.0*138</a>	0	Time	5 hours	0	0	2020.12.07 03:54:18
2	<a href="#">0-0:96.1.0*255</a>	2	Register	1 hour	1000	10	2020.12.07 04:49:38
3	<a href="#">0-0:96.14.0*255</a>	2	Register	1 hour	1000	10	2020.12.07 04:50:08
4	<a href="#">1-0:1.7.0*255</a>	2	Register	15 minutes	1000	10	2020.12.07 05:07:08
5	<a href="#">1-0:1.8.0*255</a>	2	Register	15 minutes	1000	10	2020.12.07 05:07:12
6	<a href="#">1-0:1.8.1*255</a>	2	Register	1 hour	1000	10	2020.12.07 04:51:04
7	<a href="#">1-0:1.8.2*255</a>	2	Register	1 hour	1000	10	2020.12.07 04:52:00
8	<a href="#">1-0:1.8.3*255</a>	2	Register	1 hour	1000	10	2020.12.07 04:52:02
9	<a href="#">1-0:14.7.0*255</a>	2	Register	5 minutes	1000	10	2020.12.07 05:12:09

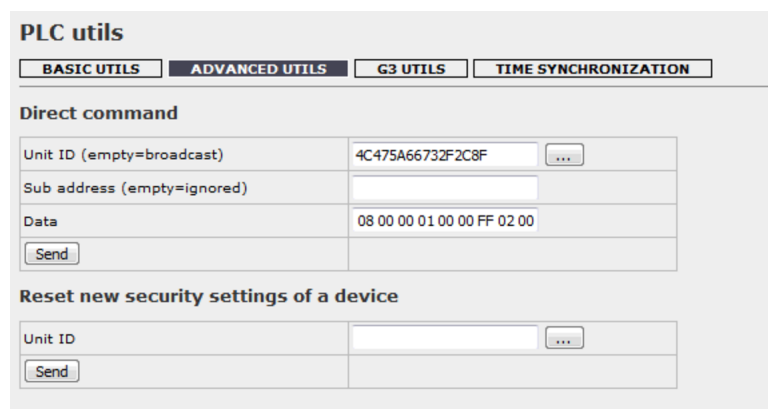
Obr. A.5: Nastavený profil

11. Duplikujte webové rozhraní v novém panelu a klikněte na „MAINTENANCE“ v hlavním menu, poté záložka „Application monitoring“ a zde vyberte „DLMS MONITOR“, nastavte čas např. 10 minut a zatrhněte pole „Raw messages“. Zobrazí se vám DLMS komunikace mezi koncentrátorem a elektroměry, kde jsou nastaveny profily pro čtení dat.
12. Zkopírujte nejdříve zprávu „get-request“ a vložte ji do překladače na webové stránce: <https://www.gurux.fi/GuruxDLMSTranslator> dle obrázku A.6, poté klikněte na „To XML“ a zobrazí se vám přeložená zpráva. Stejný postup zvolte pro odpověď „get-response“. Vyzkoušejte s více zprávami DLMS a výstup si zaznamenejte.



Obr. A.6: DLMS překlad

13. Dalším krokem je zkouška odpojení zátěže elektroměru. To je možné např. použít při zjištění, že klient nezaplatil za elektřinu, kdy jste schopni jej na dálku odpojit nebo jej odpojit při zjištění poruchy. Přesuňte se přes hlavní menu „MAINTENANCE“ ⇒ „PLC utils“ ⇒ „Advanced utils“ dle obrázku A.7.



Obr. A.7: Příkaz pro odpojení

Zde je možné pomocí příkazů ovládat elektroměr. Pro odpojení elektroměru nastavte nejdřív jeho ID a poté do pole „Data“ vložte:

C301C10046000060030AFF02010F00



a pošlete příkaz. Měl by se z elektroměru ozvat zvuk odpojení relé. Pro opětovné připojení zadejte:

C301C10046000060030AFF01010F00

a odešlete, poté stiskněte a podržte tlačítko na elektroměru po dobu alespoň 2 s.

14. Ve záložce „MAINTENANCE“  $\Rightarrow$  „PLC utils“  $\Rightarrow$  „Basic utils“ vyzkoušejte komunikaci DLMS a to pro jeden elektroměr, tak i pro všechny zároveň. Nastavením příslušného elektroměru a počtu zpráv pro jeden elektroměr a pro všechny elektroměry je nutné zadat velikost zprávy na hodnotu alespoň 5 a prioritu na „normal“.

### Úkoly a otázky

1. Je možné zjistit počet připojených zařízení?
2. Odečtete hodnotu napětí na fázi elektroměrů.
3. Funguje 3-fázový elektroměr při zapojení pouze jednoho fázového vodiče?
4. Při odečítání hodnot z elektroměrů zjistíte pomocí funkce „DLMS monitoru“, jak velký je to datový objem jedné zprávy.
5. Breaker:
  - Bylo možné zapojení/odpojení elektroměru vzdáleně?
  - Byla doba od zaslání povelu pro vzdálené odpojení elektroměru do skutečného odpojení elektroměru kratší než 5 minut?
  - Je nutné po připojení Breakeru stisknout fyzické tlačítko na elektroměru? Pokud ano, proč?
  - Došlo k požadovanému odpojení všech elektroměrů do 15 minut?
6. Došlo k synchronizaci času elektroměru s koncentrátorem, kde za synchronizovaný čas je považovaný čas nelišící se o 20 s?

## B Laboratorní úloha 2

### Cíl

Cílem laboratorní úlohy je seznámit se s problematikou Smart-metering a vyzkoušet otestovat limitní vlastnosti komunikace s využitím simulátoru elektrické sítě, kde pomocí útlumů a různých kanálů se budou ovlivňovat přenosové parametry.

### B.1 Širokopásmové BPL

Pro systémy PLC není potřeba instalovat speciální kabeláž, protože se připojují přímo do elektrické sítě. Zapojení se provádí na stupeň nízkého napětí (NN) a nebo také na stupeň vysokého napětí (VN). Protože se pro distribuci elektrické energie používá kmitočet 50 Hz, tak pro přenos dat se využívají kmitočty vyšší. Avšak i to má své úskalí. Proto je možné PLC systémy respektive PLC technologii dělit z hlediska frekvenčního pásma [2]:

- úzkopásmové PLC (NB-PLC),
- širokopásmové PLC (BB-PLC nebo také BPL),

Širokopásmové modemy BPL v této laboratorní úloze, komunikují ve frekvenčním pásmu 2-34 Mhz, avšak toto pásmo je možné upravovat na užší pásma. Zařízení převádí vysokofrekvenční modulaci pro síťové napětí na Ethernet 10/100 Mb/s a naopak. Využívá modulaci OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) pracujícím na čipu DS2, který dosahuje na fyzické vrstvě rychlosti až 200 Mb/s. Komunikace dosahuje od jednotek po stovky metrů s rychlostí do desítek Mbit/s, pro komunikaci na delší vzdálenosti je nutné použít opakovače.

Tyto zařízení umožňují vybudovat síťovou strukturu, která se skládá:

- Koncový uživatelský modem (CPE),
- Repeater (Rep)– určený pro zesílení a opakování příchozího signálu
- Head-end – propojení WAN s přístupovou sítí PLC

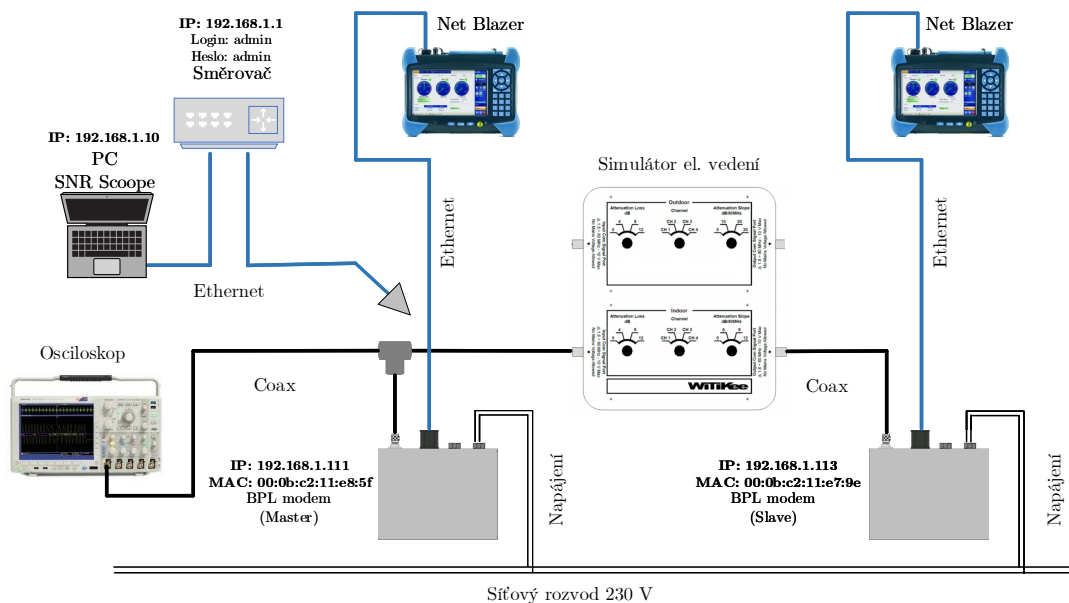
Simulátor elektrického vedení zobrazen na obrázku B.1 je hardwarové zařízení pro realistickou emulaci komunikace po elektrickém vedení. Je určeno k emulování nízkého napětí pro venkovní a vnitřní odezvu kanálu ve spektru 1,8-80 MHz. Zařízení dovoluje provádět výzkum v laboratorních podmínkách a vyhodnotit PLC modemy nebo zařízení, které jsou napájeny externě a vybaveny komunikačním portem.



Obr. B.1: Simulátor vedení Witikee

Nyní otestuje limitní vlastnosti komunikace, kde do zapojené topologie, jak zobrazuje obrázek B.2, je zapojen simulátor elektrického vedení, který umožňuje nastavovat útlum na vedení, měnit kanály a strmost signálu. BPL modemy pracují až ve frekvenčním pásmu 2-34 MHz, toto pásmo jde nastavovat a pro naše účely nastavíme pásmo 14,35-24,35 MHz. Pro měření propustnosti budou použity měřicí přístroje s nástrojem „Net Blazer“. Měření propustnosti, zpoždění a dalších parametrů bude probíhat dle doporučení RFC 2544, RFC 6349 a metodiky TCP Throughput.

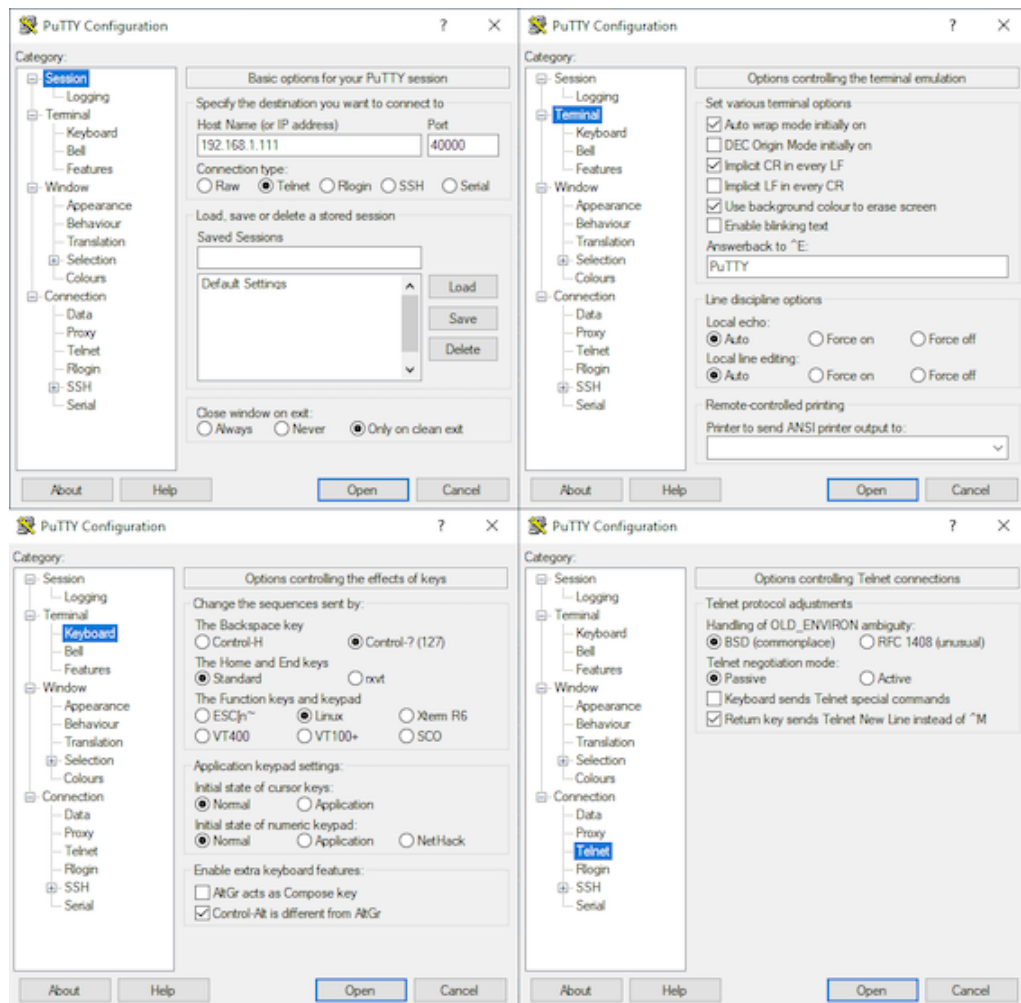
## Zapojení úlohy



Obr. B.2: Zapojení úlohy pro BPL

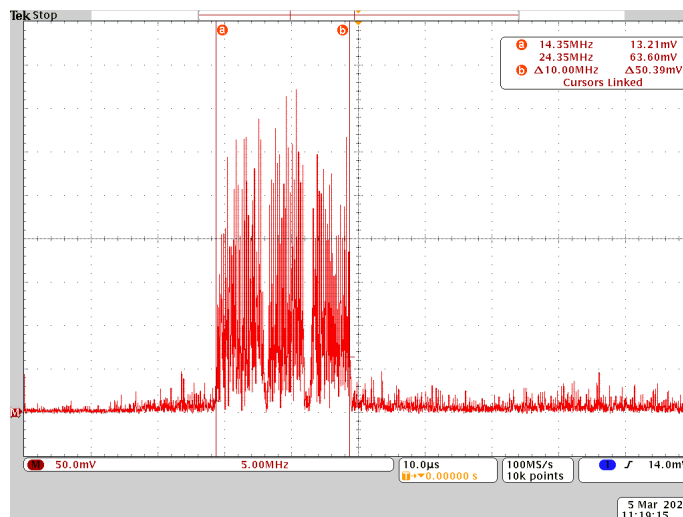
## Postup

1. Nejprve připojte do směrovače PC, poté všechny BPL modemy a nastavte IP a MAC adresy podle obrázku B.2.
2. Spustíte program „Putty“ a nastavte přístup k zařízením a správné formátování dle obrázku B.3.



Obr. B.3: Nastavení putty

Zapněte a připojte osciloskop a nastavte FFT. (Správný zdroj pro FFT, Linear RMS, Hanning, Coupling DC, Termination 50  $\Omega$ , Invert ON, Bandwidth Full) Zobrazte si signál podobně jako na obrázku B.4.



Obr. B.4: Zobrazení frekvenčního pásma pomocí osciloskopu

3. V „Putty“ Zadejte heslo: „maxibon“ a tím vstoupíte do zařízení jako administrátor. Heslo bude požadováno zadat dvakrát.
4. Zadejte příkaz: „i“ a stiskněte „Enter“. Zobrazí se vám informace o zařízení. První byste měli vidět, jaký je jeho mód. Pokud tam není uvedeno „Master Access“, zadejte do konzole příkaz: „m c n m“ a tím nastavíte zařízení módu master.
5. Zadejte příkaz: „slc i“, tím zjistíte, zda se injektování signálu provádí přes koaxiální nebo přes napájecí kabel. Zde se bude využívat koaxiální kabel, tedy pokud bude zobrazeno „Coupling to LV“ zadejte příkaz „slc s COAX“, pro přepnutí na injektování přes koaxiální kabel. Ověřte!
6. Nastavte frekvenční pásmo 14,35-24,35 MHz, tedy mód 6. Příkaz: „tm m“ zobrazí aktuální frekvenční pásmo. Další pásma je možné zobrazit příkazem: „tm g“. Zvolte mód 6, tedy: „tm m 6“. A ověřte podle bodu 4.
7. Nyní připojte druhý BPL modem na konec simulátoru vedení a opět nastavte IP adresou dle obrázku B.2 pomocí „Putty“, avšak nezapomeňte změnit IP adresu. Opakujte postup z předchozího bodu 4. Následně zadejte příkaz: „i“ a zjistíte, v jakém módu se zařízení nachází. Nastavte do módu „Repeater“, příkazem: „m c n r“. Zařízení se bude chovat jako slave. Nyní nastavte opět frekvenční pásmo podle předchozího bodu a ověřte, jak pomocí výpisu ze zařízení tak pomocí osciloskopu.
8. Nyní zadejte příkaz: „p i“, který slouží k ověření viditelnosti dalších zařízení. Vyzkoušejte i v zařízení master.
9. Odpojte UTP kabely ze směrovače a připojte do Master BPL jeden měřicí přístroj Exfo s nástrojem Netblazer a druhý Exfo na druhý BPL modem dle obrázku B.2.

10. Po zapnutí přístrojů se přihlaste do systému jako uživatel „Supervisor“. Spustíte nástroj Net Blazer. Na novějším měřicím přístroji (Pro) vyberte postupně testování RFC 2544, RFC 6349 a TCP Throughput. U každého testu vám zařízení nabídne možnost propojení měřicích přístrojů, tudíž vše provádíte jen na jednom. Pokud by nešlo nastavit vzájemné propojení odškrtněte pole „Dual test“. A poté nastavte na přístrojích IP adresy. Výsledky si ukládejte na flash disk.
11. Otevřete program „SNR scope“ (ten se nachází v notebooku HP s označením **SAP:001000204253-0000 Serial: CNU1253SHH**) a zadejte IP adresy příslušných BPL zařízení. Do pole „local“ IP adresu zařízení nastaveného jako Master a do pole „remote“ IP adresu zařízení Slave. Změřte hodnotu SNR. (Verze 1.6.5 zobrazuje symbolovou rychlost a Verze 2.3.2 umožňuje export do souboru .csv)
12. Vyzkoušejte různé konfigurace simulátoru vedení Witikee, opět změřte parametry z předchozích bodů 10 a 11 a zjistěte, do jaké míry byly komunikace a parametry přenosu ovlivněny.
13. Všechny výsledky si ukládejte, či zaznamenávejte pro výsledné bodové ohodnocení.
14. Náповěda je na konci zadání.

## Otázky a úkoly

1. Má volba přenosového pásma vliv na přenosovou rychlost?
2. Je důležitá velikost okna/rámce pro přenosovou rychlost?
3. Co značí propady v přenosovém pásmu?
4. Jaký je rozdíl mezi testováním RFC6349 a RFC2544? Jsou naměřené rychlosti stejné?
5. Jak se projevila různá nastavení simulátoru vedení?

## Náповěda

```
#admin@/>i
```

```
Repeater Access
```

```
MAC: 00:0B:C2:11:E6:67
```

```
MID: 175FE8|FFFF
```

```
IP: 192.168.1.112
```

```
SYNC: DONE
```

```
MODE: 6
```

```
AGC RX: enabled RXG = 2
```

```
AGC TX: disabled TXG = 1
```

```
ACCESS PROTOCOL: DONE
```

```
AUTOCONFIGURATION: DONE
```

```
BOOT DEVICE: FLASH
```

AVAILABLE CONNECTIONS:

-----							
-----							
MAC	PHY	TX	XPUT	PHY	RX	XPUT	BR STATE STATE NODE TYPE
-----							
9. 00:0B:C2:11:E8:5F	23	Mbps		19	Mbps		Forwarding (M)

Number of boots: 0

#admin@/>tm m

Current mode: 21 (Fiq=B400000 M=6)



## C Obsah přiloženého CD

V přiloženém CD můžeme najít elektronickou verzi Diplomové práce.

- / ..... kořenový adresář přiloženého CD
  - └─ Diplomová práce Filip Gregor
    - └─ Diplomová práce Filip Gregor.pdf ..... elektronická verze DP